



VARIABILITAT TEMPORAL I ESPACIAL EN L'ACUMULACIÓ DEL SEDIMENT FI AL RIU ISÀBENA (CONCA DE L'EBRE)

TREBALL PRÀCTIC TUTORAT

**ENGINYERIA TÈCNICA FORESTAL
ESPECIALITAT EXPLOTACIONS
FORESTALS**

SABINA MÁRQUEZ NAVARRO

Tutor: Ramon J. Batalla

Co-tutor: José Andrés López Tarazón

**Departament de Medi Ambient i Ciències
del Sòl**

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
Agrària**

UNIVERSITAT DE LLEIDA

Lleida, 25 de Juliol de 2011



A la meva família
i al Jose.

ÍNDIX

Resum
Resumen
Summary

1.- INTRODUCCIÓ.....10

- 1.1. Antecedents
- 1.2. Objectiu

2.- ÀREA D'ESTUDI.....13

- 2.1.- Localització
- 2.2.- Característiques físiques de la conca
 - 2.2.1.- Clima
 - 2.2.2.- Geologia i geomorfologia
 - 2.2.3.- Vegetació
 - 2.2.4.- Erosió i emissió de sediments
- 2.3.- Seccions d'estudi

3.- MATERIALS I MÈTODES.....18

- 3.1.- Acumulacions de sediment fi a la llera del riu
- 3.2.- Mesura i càlcul del transport de sediment

4.- RESULTATS I DISCUSSIÓ.....23

- 4.1.- Variabilitat temporal de l'acumulació del sediment fi al tram d'estudi.
- 4.2.- Variabilitat espacial de l'acumulació del sediment fi al tram d'estudi.
- 4.3.- Variabilitat temporal i espacial a cada secció.
- 4.4.- Relació entre les acumulacions de sediment, la hidrologia i el transport de sediment.

5.- CONCLUSIONS.....42

6.- BIBLIOGRAFIA.....44

ÍNDIX DE TAULES

Taula 4.1.- Sediment acumulat a S1, S2, S3 i S4 en el marge dret, centre i marge esquerre, en grams, per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions, calculat mitjançant la equació 1.

Taula 4.2.- Sediment total acumulat, per a cada estació, calculat mitjançant la equació 2.

Taula 4.3.- Crescudes ocorregudes a l'estiu de l'any 2007 (de l'01/06/2007 a 31/08/2007).

Taula 4.4.- Crescudes ocorregudes a la tardor de l'any 2007 (Del 01/09/2007 a 31/11/2007).

Taula 4.5.- Crescudes ocorregudes a l'hivern de l'any 2008 (Del 01/12/2007 a 29/02/2008).

Taula 4.6.- Crescudes ocorregudes a la primavera de l'any 2008 (Del 01/03/2008 a 31/05/2008).

Taula 4.7.- Transport total de sediment per a cada estació.

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 2.1.- Ubicació de les conques dels rius Isábena, Ésera, Cinca i Ebre a la Península Ibérica.

Figura 2.2.- Conca de l'Isábena. El detall mostra la zona d'estudi així com la ubicació de les seccions de mostreig.

Figura 2.3.- Litologia de la conca de l'Isàbena (Font: CSIC, 2000. López-Tarazón, J.A., 2011).

Figura 2.4. La conca de l'Isàbena, les seves principals subconques i la situació de les principals fonts de sediment (Font: López-Tarazón, J.A., 2011).

Figura 3.1- Perfil longitudinal del riu Isàbena en el que es mostra la ubicació de les seccions d'estudi.

Figura 3.2.- Seccions de mostreig. A) S1; B) S2; C) S3; D) S4.

Figura 3.3.- A). Equip de filtrat (Millipore). B) Equip de decantació.

Figura 3.4.- Cabal i concentració de sediment en suspensió mesurats a l'estació d'aforament de Capella durant el període gràfic d'estudi.

Figura 4.1.- Acumulació de sediments a S1 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

Figura 4.2.- Acumulació de sediments a S1 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

Figura 4.3.- Acumulació de sediments a S2 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

Figura 4.4.- Acumulació de sediments a S2 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

Figura 4.5.- Acumulació de sediments a S3 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

Figura 4.6.- Acumulació de sediments a S3 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

Figura 4.7.- Acumulació de sediments a S4 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

Figura 4.8.- Acumulació de sediments a S4 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

Figura 4.9.- Acumulació de sediments a l'estiu per a cada secció del riu.

Figura 4.10.- Acumulació de sediments a la tardor per a cada secció del riu.

Figura 4.11.- Acumulació de sediments a l'hivern per a cada secció del riu.

Figura 4.12.- Acumulació de sediments a la primavera per a cada secció del riu.

Figura 4.13.- Quantitat de sediment acumulat a S1 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Figura 4.14.- Quantitat de sediment acumulat a S2 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Figura 4.15.- Quantitat de sediment acumulat a S3 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Figura 4.16.- Quantitat de sediment acumulat a S4 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Figura 4.17.- Transport de sediment ocorregut durant l'estiu (01/06/07 fins 31/08/07).

Figura 4.18.- Transport de sediment ocorregut durant la tardor (01/09/07 fins 31/11/07).

Figura 4.19.- Transport de sediment ocorregut durant l'hivern (01/12/07 fins 29/02/08).

Figura 4.20.- Transport de sediment ocorregut durant la primavera (01/03/08 fins 31/05/08).

Figura 4.21.- Transport de sediment ocorregut durant tot el període gràfic d'estudi.

Figura 4.22.- Relació del transport i l'acumulació de sediment per a cada estació.

Figura 4.23.- Transport i acumulació de sediment per a cada estació.

Resum

En aquest treball s'ha estudiat la variabilitat temporal i espacial en l'acumulació de sediment fi a la llera del riu Isàbena (Conca de l'Ebre) al llarg d'un any (1 de Juny de 2007 al 31 de maig de 2008) així com la seva relació amb l'arribada de sediments a l'embassament de Barasona.

Per a realitzar aquest estudi s'ha utilitzat un mètode directe de camp, en aquest cas el cilindre de resuspensió. Aquesta tècnica s'ha aplicat a quatre seccions ubicades al tram baix de l'Isàbena. Amb les dades obtingudes, s'ha analitzat la dinàmica de les acumulacions a les diferents estacions de l'any, tractant de trobar patrons característics. S'ha estudiat: la variabilitat temporal i espacial de l'acumulació del sediment fi al tram d'estudi, la variabilitat temporal i espacial per a cada secció d'aquest tram d'estudi i la relació entre les acumulacions de sediment en aquest tram amb la hidrologia i el transport de sediment.

L'acumulació total de sediment fi per al tram i període d'estudi és de 1345 t. L'estació que presenta una major acumulació de sediment fi a la llera del riu és l'hivern i la que menys, la primavera. No s'ha trobat cap tipus de tendència o correlació pel que fa a l'acumulació a les diferents seccions del riu al llarg de les estacions. S'ha observat que, en les estacions on ocorren més crescudes són aquelles en les que es produeix un major transport de sediment i, per tant, una menor acumulació de sediment fi a la llera del riu. També s'ha observat l'efecte invers, produint-se les majors acumulacions durant els moments de menys crescudes. Aquest fet es relaciona amb el llinar crític que assoleix el riu a la part baixa de la conca en relació a la seva capacitat de transport de la càrrega sòlida disponible.

Resumen

En este trabajo se ha estudiado la variabilidad temporal y espacial en la acumulación de sedimento fino en el río Isábena (Cuenca del Ebro) a lo largo de un año (1 de Junio de 2007 al 31 de Mayo de 2008) así como su relación con la llegada de sedimentos al embalse de Barasona.

Para realizar este estudio se ha utilizado un método directo, como lo es la técnica del cilindro de resuspensión. Esta técnica se ha aplicado a cuatro secciones ubicadas en el tramo bajo del Isábena.

Con los datos obtenidos, se ha analizado la dinámica de estas acumulaciones en las diferentes estaciones del año, tratando de encontrar patrones característicos. Se ha estudiado: la variabilidad temporal y espacial de la acumulación del sedimento fino en el tramo de estudio, la variabilidad temporal y espacial para cada sección de este tramo de estudio y la relación entre las acumulaciones de sedimento en este tramo con la hidrología y el transporte de sedimento.

La acumulación total de sedimento fino para el tramo y período de estudio es de 1345 t. La estación que presenta una mayor acumulacion de sedimento fino en el lecho del río es el invierno y la que menos, la primavera. No se ha encontrado ninguna tendencia o correlación en la acumulación en las diferentes secciones del río a lo largo de las estaciones. Se ha observado que, en las estaciones donde ocurren más crecidas son aquellas en las que se produce un mayor transporte de sedimento y, por tanto, una menor acumulación de sedimento fino en el lecho del río. Tambien se ha observado el efecto inverso, produciéndose una menor acumulación en los momentos con menor número de crecidas. Este hecho se relaciona con el umbral crítico al que llega el río en la parte baja de la cuenca en relación a su capacidad de transporte de la carga sólida disponible.

Summary

In this work we have studied the spatial and seasonal variability in the fine sediment storage in the River Isábena (Ebro river basin) during one year (June 1, 2007 to May 31, 2008) and since its relation with the siltation of the Barasona Reservoir.

To undertake this study direct methods have been applied, in this case using the resuspension cylinder. This technology has been deployed in four sections located in the lower reaches of the Isábena.

Several analyses have been done to study the dynamics of these accumulations along the different seasons of the year. In particular we have studied: the temporal and spatial variability of the accumulation of fine sediment in the study reach, the temporal and spatial variability for every section and the relation between the accumulations of sediment with the hydrology and the transport of sediment.

The total accumulation of sediment for the whole reach and period of study is 1345 t. The season with higher sediment storage is winter, while springs show the smallest accumulations. There is no trend in the accumulation at the different sections of the river. We have observed that seasons with larger number of floods show less accumulations in the channelbed, while storage increases in periods when low flows and smaller floods occur. This fact may indicate that the river reaches its transport capacity threshold once its flows through the lower reach of the catchment.

1.- INTRODUCCIÓ

Els rius són sistemes naturals complexos que transfereixen aigua i sediments episòdicament des de les zones de capçalera fins a les parts baixes de les conques i les seves desembocadures (estuàries, deltes, oceans).

El transport de sediment no és un procés lineal en l'espai ni en el temps sinó que varia en funció de diversos factors com, per exemple, la distribució de la precipitació a la conca, la disponibilitat de sediments en les àrees font, i la distància des d'aquestes àrees fins la sortida (William, 1989; Sanz Montero *et al*, 1996).

L'acumulació de sediment pot ser molt important a rius que flueixen a través de materials altament erosionables, com és el cas del riu Isàbena. En aquests, la producció de sediment pot ser superior a la seva capacitat de transport, provocant que el sediment s'acumuli al llit del riu (López-Tarazón *et al*, 2009; López-Tarazón *et al*, 2010).

El llit del riu controla la dinàmica sedimentària de la conca i l'arribada de material als embassaments (Vericat i Batalla, 2005, 2006), ja que determina la disponibilitat de sediment en moments determinats de l'any i durant períodes de crescuda i cabals baixos (Lambert *et al*, 1988; Walling *et al*, 1998; Walling *et al*, 1999). Per tant, els efectes d'aquestes acumulacions al llit del riu representen un motiu de creixent preocupació ja que poden impactar de forma negativa, per exemple, sobre la qualitat de l'aigua, la diversitat del habitat, podent produir també aterrament d'embassaments.

La sedimentació en embassaments no és només un problema ambiental sinó també socioeconòmic ja que implica una reducció progressiva de la capacitat d'emmagatzematge d'aigua, fet que distorsiona la gestió dels recursos hídrics (Batalla i Sala, 1994; Valero-Garcés *et al*, 1997; Valero-Garcés *et al*, 1999).

Aquest estudi analitza la dinàmica sedimentària estacional per a un any d'estudi, en busca de patrons que permetin avaluar la variabilitat temporal i espacial de les aportacions de sediment aigües avall de l'àrea d'estudi, així com la repercussió que aquest sediment té sobre l'embassament de Barasona.

1.1.- Antecedents

Malgrat que existeix una manca d'estudis experimentals que proporcionin informació sobre la dinàmica sedimentària dels rius, especialment de conques grans situades aigües amunt d'embassaments, hi ha nombrosos treballs realitzats a la conca del riu Isàbena.

La Universitat de Lleida, mitjançant el Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl ha promogut l'estudi de la conca del riu Isàbena mitjançant la realització d'un cert nombre de projectes finals de la Enginyeria Tècnica Forestal i de la Enginyeria de Forests, de dues Tesis Doctorals i de nombrosos articles publicats en revistes nacionals i internacionals.

Els diferents treballs realitzats es poden agrupar en relació a la seva temàtica: a) estudis d'erosió (Martínez-Casasnovas i Poch, 1998; Serrat i Martínez-Casasnovas, 1998; Martínez-Casasnovas et al., 1999); b) efecte del canvi dels usos del sòl en la resposta hidrològica (Verdú et al., 2004); c) estudis hidrològics relacionats amb la precipitació (Verdú, 2003; Verdú et al., 2006a; Verdú et al., 2006b); d) estudis hidrològics i de transport de sediments relacionats amb la precipitació (López-Tarazón et al., 2009); e) estudis d'emissió de sediments (Fargas, 1995; Fargas et al., 1997; López-Tarazón et al., 2009); f) estudis sobre la caracterització i dinàmica dels badlands (Penella, 1997; Poch i Martínez-Casasnovas, 1997, Francke, 2009); g) estudis sobre la modelització del transport de sediment a l'Isàbena i als seus tributaris i badlands (Francke et al., 2008 a, b); h) estudis relacionats amb l'embassament de Barasona (Avendaño et al., 1997a; Avendaño et al., 1997b; Valero-Garcés et al., 1997; Alcázar i Ferrán, 1998; Valero-Garcés et al., 1999; Avendaño et al., 2000; Mamede et al., 2006; Mamede, 2008).

Existeixen també nombrosos treballs realitzats sobre la importància de les acumulacions de sediment fi a la llera del riu però, cal remarcar que la majoria d'ells han estat realitzats a conques petites ($<10 \text{ km}^2$), com poden ser els estudis de Loughran et al. (1992), Hart i Schurger (2005) i Smith i Dragovich (2008) o conques mitjanes ($10 - 100 \text{ km}^2$) com son els treballs de Swanson et al. (1982), Owens et al. (1997), Walling i Amos (1999), Hodgkins et al. (2003), però molt pocs autors han provat de quantificar

l'acumulació de sediment a conques grans o molt grans (100 – 10.000 km²). Malgrat això, caldria destacar els treballs realitzats per Lambert i Walling (1988), Jordan i Slaymaker (1991), Phillips (1991), Harden (1993), Meade (1994), Mertes (1994), Walling et al. (1998), Wilson et al. (2004), Collins i Walling (2007) i López-Tarazón et al. (2010).

1.2.- Objectiu

L'objectiu del projecte és l'anàlisi de la variabilitat temporal i espacial de les acumulacions del sediment fi a la llera del riu Isàbena (conca de l'Ebre) mitjançant mesures directes durant l'any 2007-2008. Aquest treball també analitza la dinàmica d'aquestes acumulacions a les diferents estacions de l'any, tractant de trobar patrons característics i la seva relació amb el transport de sediments.

2.-ÀREA D'ESTUDI

2.1.- Localització

La conca del riu Isàbena, està situada al Sud del Pirineu Central (Figura 2.1.). El riu Isàbena, desemboca al riu Ésera a la cua de l'embassament de Barasona. Ambdós, son els afluents més destacats del riu Cinca el qual, al seu torn, és el segon afluent més important del riu Ebre. La conca del riu Isàbena té una superfície de 445 km² ($\approx 0,48$ % del total de la conca de l'Ebre).

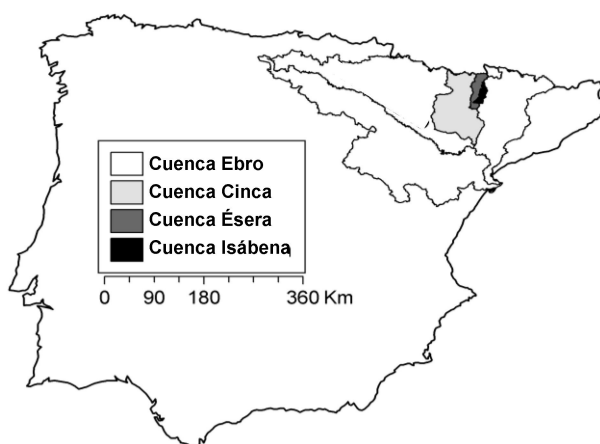


Figura 2.1.- Ubicació de les conques dels rius Isàbena, Ésera, Cinca i Ebre a la Península Ibèrica.

L'Isàbena (Figura 2.2) transcorre des de la seva capçalera per serres calcàries als Pirineus, encaixant-se en congostos com el d'Obarra, però mantenint característiques plenament pirenaïques a tota la seva extensió, ja que naix al Collado de la Corva, a 2500 m d'altitud, però el seu rang altitudinal oscil·la entre els 650 m a la seva desembocadura i els 2720 m del Pico de Gallinero, al seu extrem nord. Al curs mitjà, al nord de la localitat de La Puebla de Roda, l'Isàbena rep les aigües del barranc de Villacarli, el qual desaigua a les vessants meridionals del pic del Turbón. Aigües avall, el riu eixampla la seva llera per discórrer pels materials del Terciari, fins que es troba amb l'Ésera a Graus. No és un riu molt llarg, escassament té uns 50 km (Gayúbar, 2001).

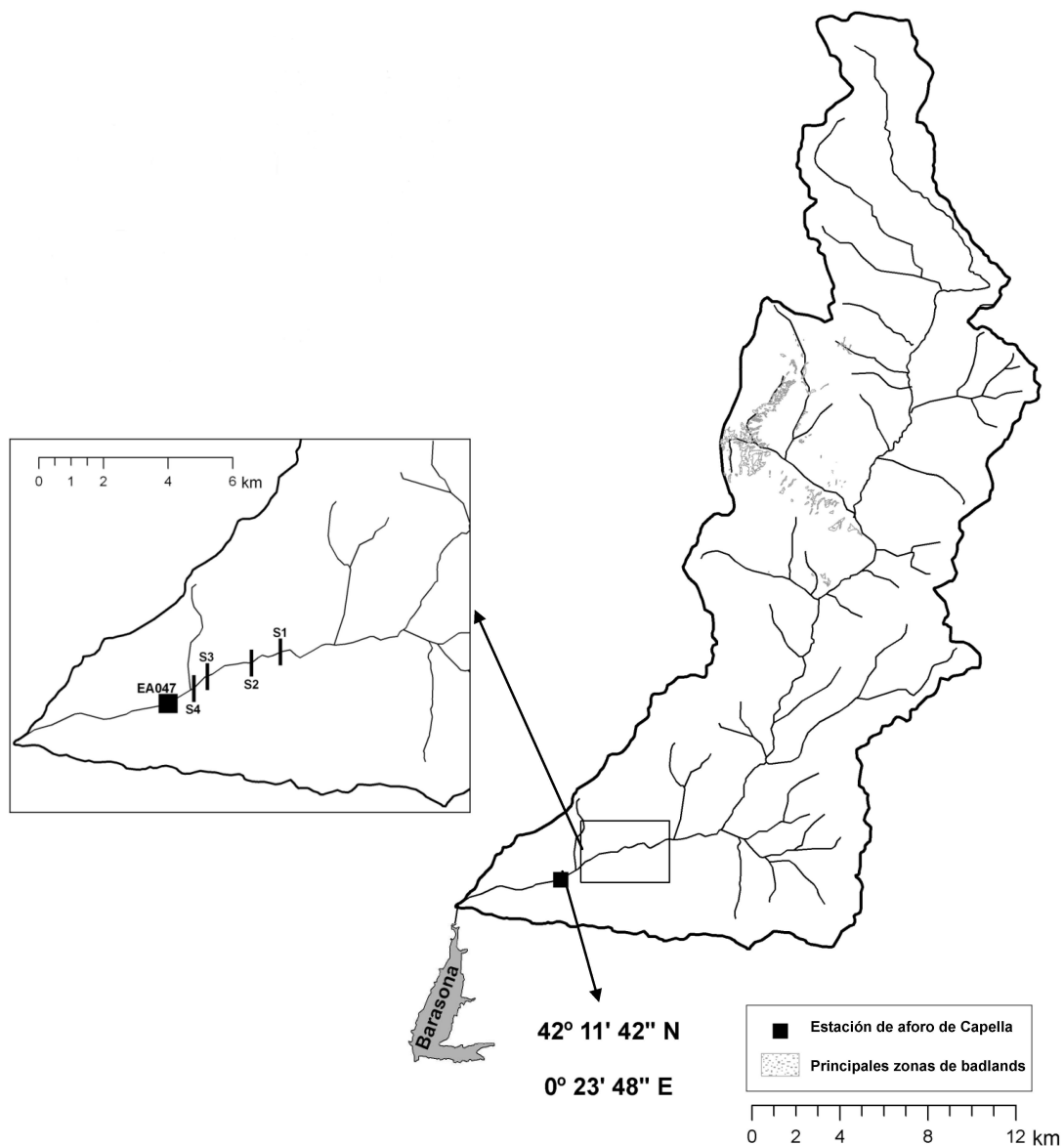


Figura 2.2.- Conca de l'Isábena. El detall mostra la zona d'estudi així com la ubicació de les seccions de mostreig.

El riu Isàbena presenta un règim pluvionival, amb grans variacions al seu cabal i un valor mitjà anual de 5,7 m³/s. L'aportació hídrica anual de la conca és de 177 hm³, valor que suposa \approx 1,5 % de l'aportació total de l'Ebre. La conca no està regulada hidràulicament, és a dir, el seu règim hidrològic ve determinat, exclusivament per factors naturals.

2.2.- Característiques físiques de la conca

2.2.1.- Clima

A la conca del riu Isàbena predomina el clima mediterrani, essent la característica principal un gran contrast tèrmic, amb un hivern sec i una primavera més tempestuosa, amb gran nombre de pluges de caràcter torrencial. L'àrea d'estudi pot dividir-se en dos grans meitats, des del punt de vista climàtic, una al sud del massís del Turbón, de clima mediterrani sec (més càlida i seca), i una altra al nord, típicament pirenaica, amb les característiques climàtiques pròpies de la vessant sud dels Pirineus. Degut a la variabilitat del relleu a la conca, s'ha de tenir en compte la influència altitudinal respecte al clima, de manera que aquest passa de tenir caràcter submediterrani, en la part sud, a tenir trets subalpins a partir de 1600 m s.n.m. De la mateixa manera, són importants els contrastos bioclimàtics degut a l'exposició i efecte pantalla de les serres respecte a les depressions, el que ocasiona una gran variabilitat de temperatures i precipitacions a àrees bastant properes (Verdú, 2006).

La precipitació mitjana anual enregistrada a la conca oscil·la entre els 450 i 1600 mm, depenent de la localització geogràfica. La pluja mitjana anual a la conca és de 767 mm, amb valors màxims mensuals de 75-90 mm a maig i juny. Els mínims de precipitació es produeixen al mes de juliol, amb uns 46 mm. Les precipitacions més abundants es produeixen a la tardor i primavera, seguides per les pluges d'estiu i hivern (López-Tarazón et al., 2009). Pel que fa a la temperatura, la temperatura mitjana anual de l'àrea d'estudi es troba entre els 11 °C i els 14°C a la meitat sud, i entre els 9 °C i els 11°C a la zona nord. Els valors màxims es produeixen als mesos de juliol i agost (21 °C – 22 °C) i els valors mínims es generen als mesos de gener i desembre (2 °C – 4 °C). Com a temperatures màxima i mínima absolutes es tenen registres de 36 °C al mes de juliol i de -8 °C al gener. Les gelades es produeixen durant els mesos de setembre a maig, sent gener el mes amb major probabilitat de gelada, seguit per desembre i febrer (Verdú, 2006).

2.2.2.- Geologia i geomorfologia

La conca del riu Isàbena forma part de la conca de Tremp-Graus. Freqüentment, a la part central de la conca, el paisatge està dominat per la presència de badlands que generen importants quantitats de sediments durant les pluges torrencials. El nord de l'àrea d'estudi el forma el curs alt de l'Isàbena, que ha excavat valls entre massissos cretàtics (Turbón, Chordal) que donen forma al relleu de la zona. L'erosió ha deixat els materials calcaris a les cotes més altes d'aquests massissos, i les margues eocenes posteriors formen relleus deprimits. Aquestes serres Prepirinenques són discontinües, de relleu abrupte i fraccionat, i han estat modelades per fenòmens càrstics. Al nord-oest de la zona apareixen materials del Paleozoic, corresponents a la denominada zona axial dels Pirineus. La meitat sud de la conca es troba a la unitat estructural denominada Prepirineu Meridional, format per materials de l'era Secundària, principalment calcàries del Cretàcic que formen relleus escarpats. També afloren materials del Terciari: argiles i conglomerats (López-Tarazón et al., 2009). A la figura 2.3 es pot observar gràficament, la litologia que presenta la conca del Isàbena.

Geomorfològicament es distingeixen diversos nivells de glacis d'erosió, als quals la xarxa hidrogràfica s'ha anat encaixonant formant barrancs que delimiten superfícies penjades de pendents entre 10 – 20 %, les quals estan situades a la altura mitjana de la conca. Aquestes zones estan actualment ocupades per conreus i pastures. La xarxa hidrogràfica en sí està encaixada a les calcilutites, coincidint amb les zones de més pendent. Els processos geomorfològics més actius són els moviments en massa i l'erosió hídrica a les vessants i als badlands (Verdú et al., 2003).

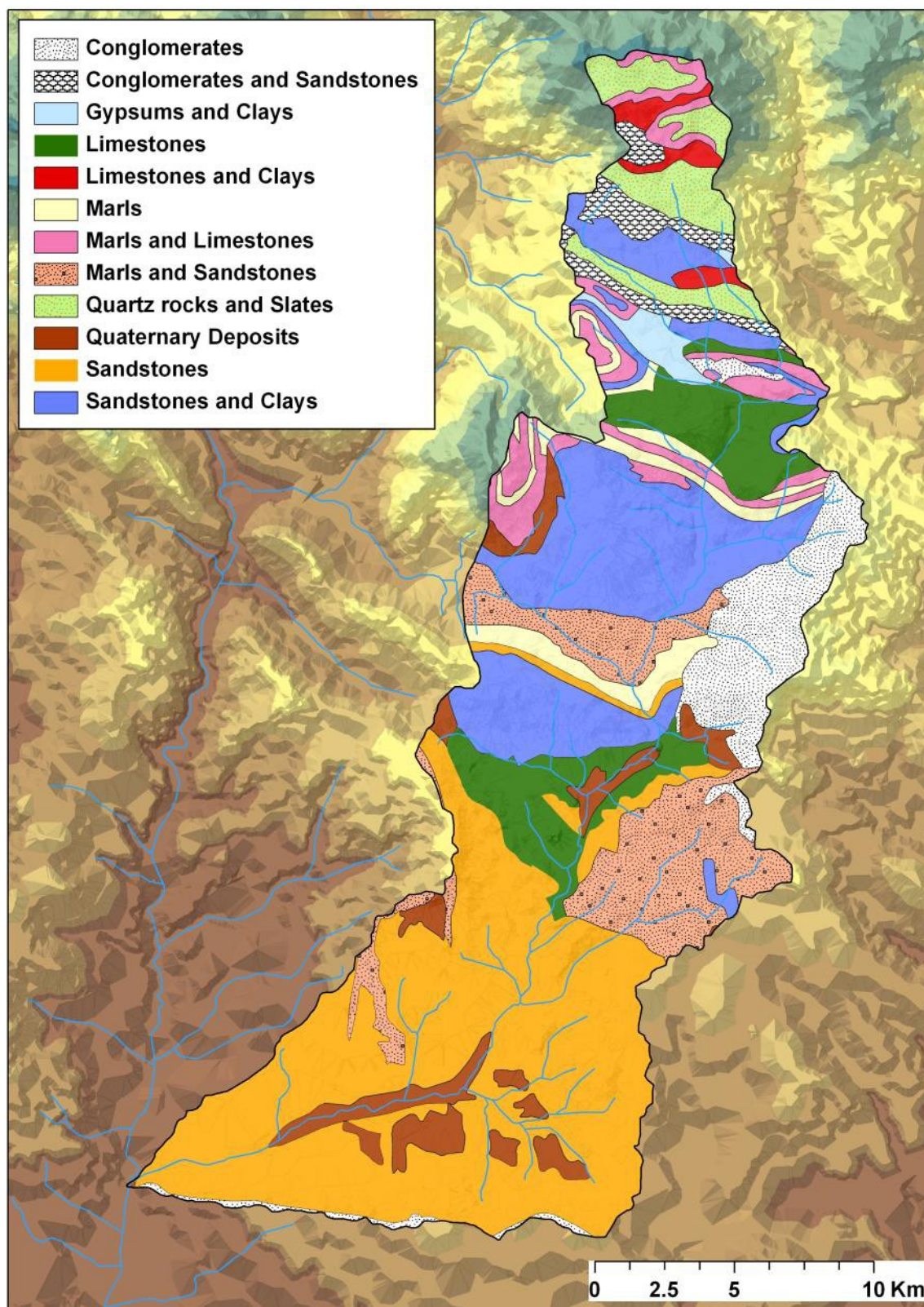


Figura 2.3. Litologia de la conca de l'Isàbena (Font: CSIC, 2000. López-Tarazón, J.A., 2011)

2.2.3.- Vegetació

La vegetació de la conca de l'Isàbena està directament relacionada amb la variabilitat climàtica latitudinal i altitudinal característica de la conca i també amb el contrast entre solana i ombria. L'alzinar, com a bosc natural, ocuparia la major part de la zona sud i centre de la conca així com les vessants més solejades però actualment té una extensió reduïda i dispersa ja que ha deixat pas a vegetació més degradada com els matollars i pasturatges secs. A la zona nord, més humida i més fresca, de la conca domina el *Pinus sylvestris*. Dels 1600 m amunt, es troba el *Pinus uncinata*, fins als 2300 m on ja es troba de forma dispersa. Apareixen també, a tota la conca, diverses comunitats pratenses.

2.2.4.- Erosió i emissió de sediments

La conca del riu Isàbena sofreix notables processos d'erosió hídrica que repercuteixen en l'aterrament per sediments de l'embassament de Barasona, situat aigües avall de l'àrea d'estudi, entre els termes de Graus i la Puebla de Castro. L'embassament, al llarg dels anys, ha sofert varies actuacions, totes elles per tal de resoldre el procés de colmatació que està sofrint i que és tan rellevant des del punt de vista de la gestió ambiental. Fou dragat en 1994; a aquest dragat li seguien tres buidats parcials al 1995, 1996 i 1997. Dels 92 hm³ de capacitat original del vas de l'embassament, 28 hm³ estaven ocupats per sediments amb lo que es reduïa el 30% del seu volum d'aigua emmagatzemable (Avendaño et al., 1997a; Avendaño et al., 1997b, Navas et al., 1998).

Les principals fonts de sediment son les zones localitzades preferentment en la zona central de la conca, situada en una franja al sud del Turbón, que ocupa els torrents de Villacarli i de Carrasquero. Es tracta d'una franja amb valls excavats en margues amb gresos a les divisòries d'aigües. Aquestes margues afloren a una formació de badlands (Figura 2.4), amb una elevada superfície de contacte, la qual cosa els converteix en una font molt important de sediments. Al voltant de Laguarres i Lascuarre, a la zona baixa de la conca, i sobre una taca de conglomerats, es localitza una àrea amb una alta densitat de barrancs, alguns d'ells també amb estructura de badlands, però sense arribar a la

producció sedimentària dels de la zona central. Una gran part dels materials mobilitzats als badlands són incorporats ràpidament a la xarxa de drenatge del riu, i finalment acaben sedimentant-se aigües avall, a l'embassament de Barasona.

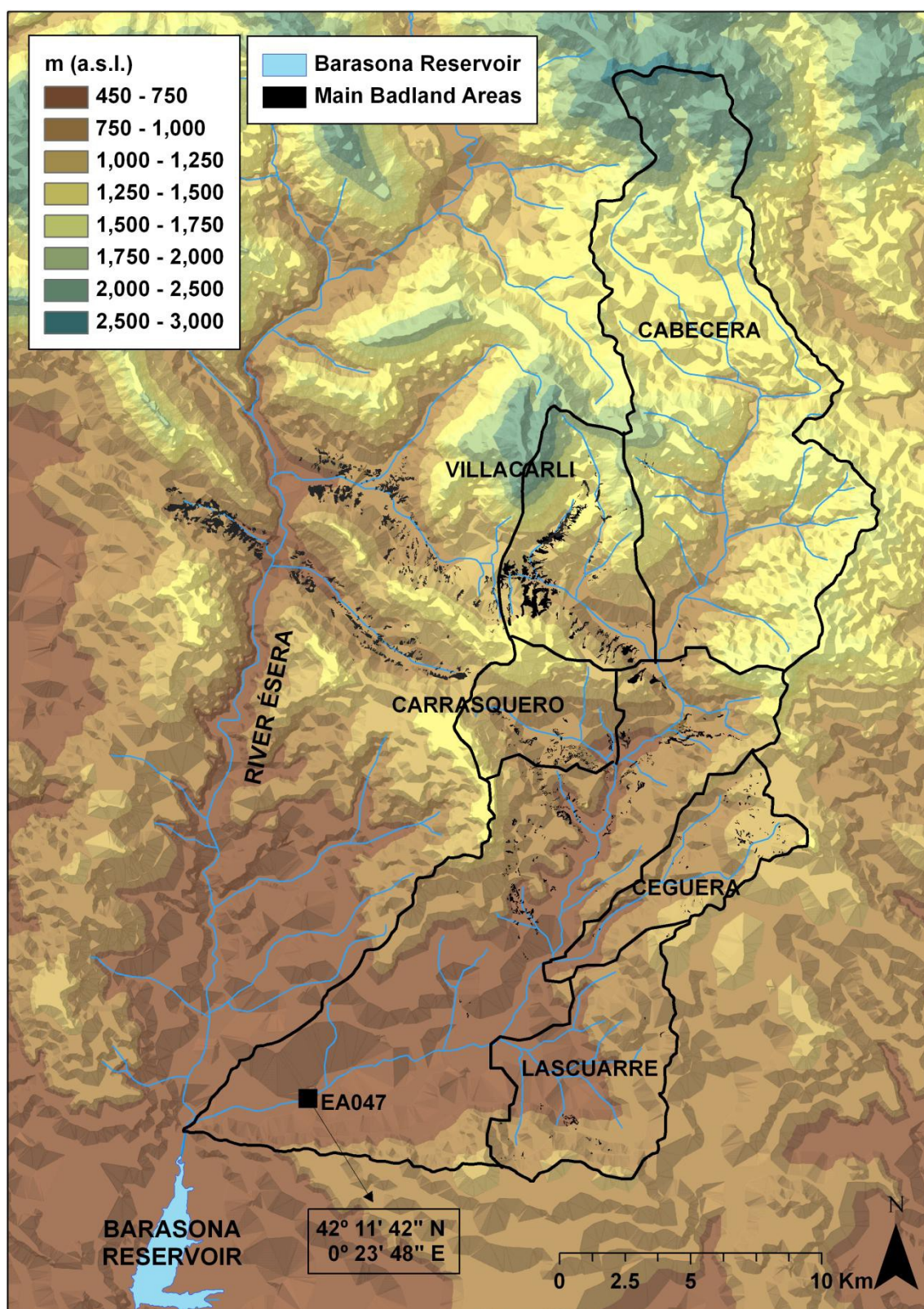


Figura 2.4. La conca de l'Isàbena, les seves principals subconques i la situació de les principals fonts de sediment (Font: López-Tarazón, J.A., 2011).

3.- MATERIALS I MÈTODES

3.1.- Acumulacions de sediment fi a la llera del riu

La quantitat de sediment fi acumulat a la zona baixa de la llera del riu Isàbena s'ha determinat mitjançant la utilització de la tècnica del cilindre de resuspensió, desenvolupada per Lambert i Walling (1986). Aquesta tècnica permet estimar la quantitat de sediment que hi ha acumulat a la llera del riu al lloc on s'aplica i en aquell moment, però no les taxes de sedimentació per a la totalitat del riu.

Els mostrejos es realitzaren, de manera estacional, a quatre seccions ubicades al tram baix de l'Isàbena, ocupant una longitud de llera d'uns 4 km (Figura 2.2). S'escolliren aquestes seccions per considerar-les representatives d'aquest tram, per la facilitat d'accés i perquè tots els tributaris importants de l'Isàbena desemboquen aigües amunt de la primera secció, pel que totes les aportacions hídriques i sedimentàries al riu s'han produït abans d'arribar a aquesta secció. Aquestes seccions s'anomenaren S1, S2, S3 i S4. La localització d'aquestes seccions es poden veure tant a la Figura 2.2 com a la Figura 3.1, on s'han ubicat respecte del perfil longitudinal del riu.

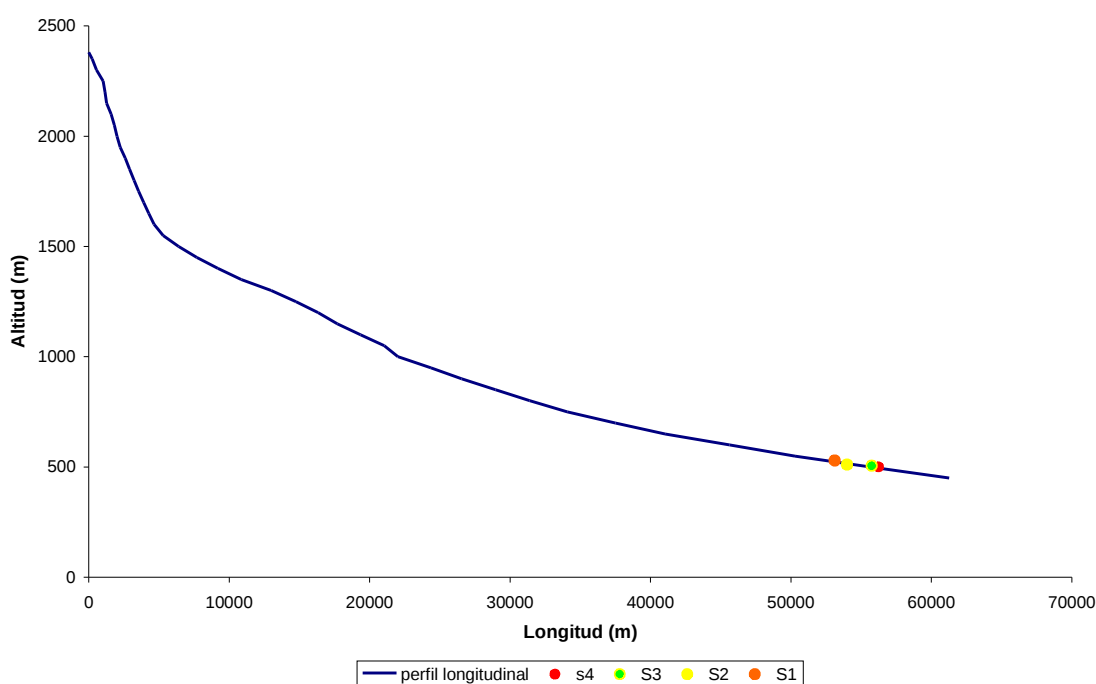


Figura 3.1.- Perfil longitudinal del riu Isàbena en el que es mostra la ubicació de les seccions d'estudi

S1 es troba a uns 4 km aigües amunt de la estació d'aforament de Capella (EA047) i té com a coordenades UTM, fus 31N: X0288630, Y4676166. En aquesta secció es mostreja a cinc punts, tres al canal més proper al marge dret i dos més al canal situat a prop del marge esquerre. S2 es troba a uns 3 km aigües amunt de la EA047 i té com a coordenades UTM, fus 31N: X0287716, Y4675925. En aquesta secció es mostreja a tres punts, un proper al marge dret, un altre a la zona central i, finalment, un altre proper al marge esquerre. S3 es troba a 1 km aigües amunt de la EA047 i té per coordenades UTM, fus 31N: X0286106, Y4675317. En aquesta secció s'ubiquen cinc punts de mesura distribuïts equidistantment per tota l'amplada de la secció. Finalment, S4 es troba a uns cinc-cents metres aigües amunt de l'estació d'aforament de Capella (coordenades UTM, fus 31N: X0285874, Y4675166). En aquesta secció s'ubicaren tres punts de mesura, un proper al marge dret, un a la zona central i un últim proper al marge esquerre (Figures 2.2 i 3.2).

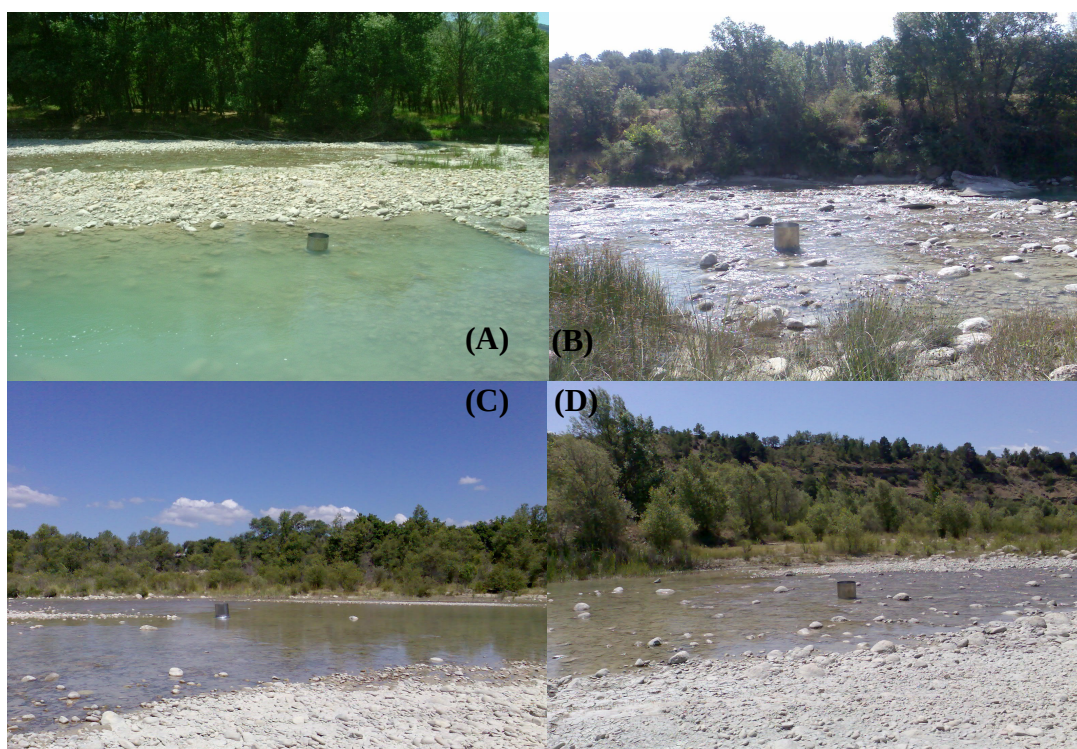


Figura 3.2.- Seccions de mostreig. A) S1; B) S2; C) S3; D) S4.

La metodologia de mostreig es pot descriure de la següent manera: un cilindre metàl·lic (de 60 cm d'alçada i un àrea de 0,19 m²) es col·loca a la llera del riu al lloc on es vol

mostrejar, alterant el mínim possible el sediment fi que hi ha dipositat. Posteriorment s'altera la llera del riu manualment, mitjançant un bastó, remouvint tot el material fi que hi ha dipositat per tal de conèixer aquesta acumulació. Aquest procés es realitza de dues maneres diferents: a) primerament, s'agita la columna d'aigua continguda dintre del cilindre, d'aquesta forma, només es remou el sediment que hi ha dipositat sobre la llera (aquest nivell d'agitació s'anomena N2); b) seguidament, s'agita vigorosament tant la columna d'aigua com els primer 10 cm de la llera, per tal de remoure tant el sediment que hi ha sobre la llera, com aquell que està formant part de la matriu de graves (aquest nivell d'agitació s'anomena N3). En ambdós casos es recullen mostres d'aigua i sediment duplicades (en ampolles d'1 litre) representatives del sediment en suspensió que hi ha a dintre del cilindre. A més d'aquestes mostres, es recullen 2 mostres més abans de començar l'agitació (nivell d'agitació anomenat N1) per tal d'utilitzar-les com a patrons (i.e., els valors de concentració obtinguts per aquestes serà restat dels resultats obtinguts de les mostres agitades). A totes les seccions s'ha mostrejat sempre als mateixos punts. Un cop finalitzat el mostreig, les mostres agafades es portaren al laboratori per tal de processar-les i obtenir la concentració de sediment en suspensió de cadascuna d'elles.

Les mostres amb concentracions inferiors a 2 g/l es filtren mitjançant un equip de filtrat. Aquest equip està compost d'una bomba elèctrica, i un filtrador Millipore (Figura 3.3.A), fent travessar les mostres per filtres de cel·lulosa de 0,045 mm de por (que prèviament han estat tarats a una balança de precisió), per tal de que es quedi retintut tot el sediment fi. Les mostres amb concentracions superiors a 2 g/l, s'utilitza un sistema de decantació (Figura 3.3.B). Totes les mostres, una vegada filtrades o decantades, es secaten a una estufa a temperatura constant de 60°C durant 24 hores. Un cop assecades les mostres, es tornaren a pesar mitjançant una balança de precisió per tal d'avaluar la quantitat de sediment fi de cada mostra d'aigua.



Figura 3.3- A). Equip de filtrat (Millipore). B) Equip de decantació.

El pes de sediment acumulat per unitat d'àrea ($B(t)$, g/cm²) s'obtingué mitjançant la fórmula:

$$B(t) = \frac{C(t)W(t)}{A} \quad (1)$$

on, $C(t)$ és la concentració de sediment en suspensió de cada una de les mostres (g/l), $W(t)$ és la quantitat d'aigua continguda al cilindre (l) i A és l'àrea de mostreig de la secció transversal del cilindre (cm²).

Finalment, els resultats foren extrapolats a l'àrea total del tram d'estudi, per estimar el pes total de sediments fins acumulats al llit del riu (S_s en tones). Aquesta extrapolació es va fer mitjançant la següent fórmula:

$$S_s = \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_i + B_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{L_i + L_{i+1}}{2} \right) D \quad (2)$$

on B_i és la mitja del pes dels sediments alliberats en una secció determinada i (t/m²), L_i és l'amplada del llit en la secció i (m) y D és la distancia representativa de cada secció (distancia mitja entre seccions consecutives, en m).

3.2.- Mesura i càlcul del transport de sediment

L'altura d'aigua (i.e. calat) es mesura contínuament, i es registra amb una freqüència quinzeminutal, a l'estació d'aforament que la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE) té ubicada a Capella (EA047; Figura 2.2) prop de la sortida de la conca de l'Isàbena. Aquesta altura d'aigua es transforma en cabal mitjançant la corba d'aforament de l'estació obtenint, d'aquesta manera, un registre quinzeminutal del cabal d'aigua.

El transport de sediment en suspensió es mesura, en forma de terbolesa, també de forma contínua i amb freqüència quinzeminutal, a l'EA047 mitjançant el turbidímetre d'infrarojos d'alt rang (fins a 300 g/l) Endress+Hauser Turbimax W CUS41 que l'equip de Geomorfologia Fluvial de la Universitat de Lleida instal·là a l'any 2005. Aquesta

terbolesa es transforma en concentració de sediment en suspensió (g/l) utilitzant la seva curva de calibració (López-Tarazón et al., 2009). D'aquesta manera, el transport de sediment en suspensió s'estima mitjançant la multiplicació del dos registres de dades quinzeminutals (i.e., cabal i concentració de sediment en suspensió). La Figura 3.4 mostra el cabal i la concentració de sediment en suspensió mesurats a l'estació d'aforament de Capella durant el període gràfic d'estudi. L'anomenem període gràfic perquè no és el període real d'estudi, aquest finalitza el 31/05/2008, però el fem acabar l'01/08/2008 per tal de no tallar el gràfic a la meitat d'una crescuda.

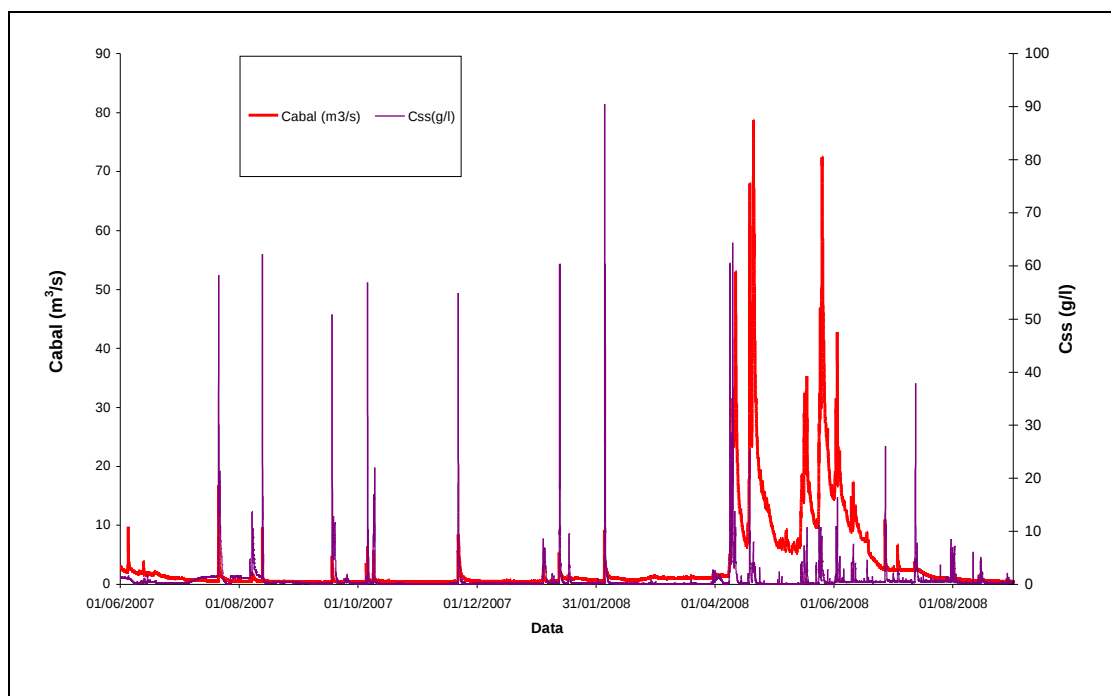


Figura 3.4.- Cabal i concentració de sediment en suspensió mesurats a l'estació d'aforament de Capella durant el període gràfic d'estudi.

4.- RESULTATS I DISCUSIÓ

4.1.- Variabilitat temporal de l'acumulació del sediment fi al tram d'estudi

En aquest anàlisi temporal s'estudia la variabilitat en l'acumulació de sediment fi a les diferents seccions del riu per a cadascuna de les estacions. Per a cada secció (S1, S2, S3 i S4) s'han fet els mostrejos per dos nivells d'agitació diferents, N2 (nivell d'agitació superficial, només s'agita la columna d'aigua) i N3 (nivell d'agitació superficial i subsuperficial, s'agita la columna d'aigua i els primers 10 cm de la llera del riu), pel que els resultats s'agruparan d'aquesta manera. A continuació es mostren els gràfics d'acumulació de sediments per a cada secció i nivell d'agitació i per a cadascuna de les estacions.

4.1.1.- Variabilitat temporal a S1

Dels resultats obtinguts a la secció S1 es pot deduir que, tant per al nivell d'agitació N2 com N3, l'hivern és, amb diferència, l'estació de l'any on hi ha més acumulació de sediment fi per aquesta secció. A la resta d'estacions, l'acumulació varia depenent del nivell d'agitació. A la figura 4.1 s'observa que és l'estiu on es presenta menys acumulació, seguit de la tardor i la primavera. En canvi, a la figura 4.2, és la primavera, seguit de l'estiu i la tardor.

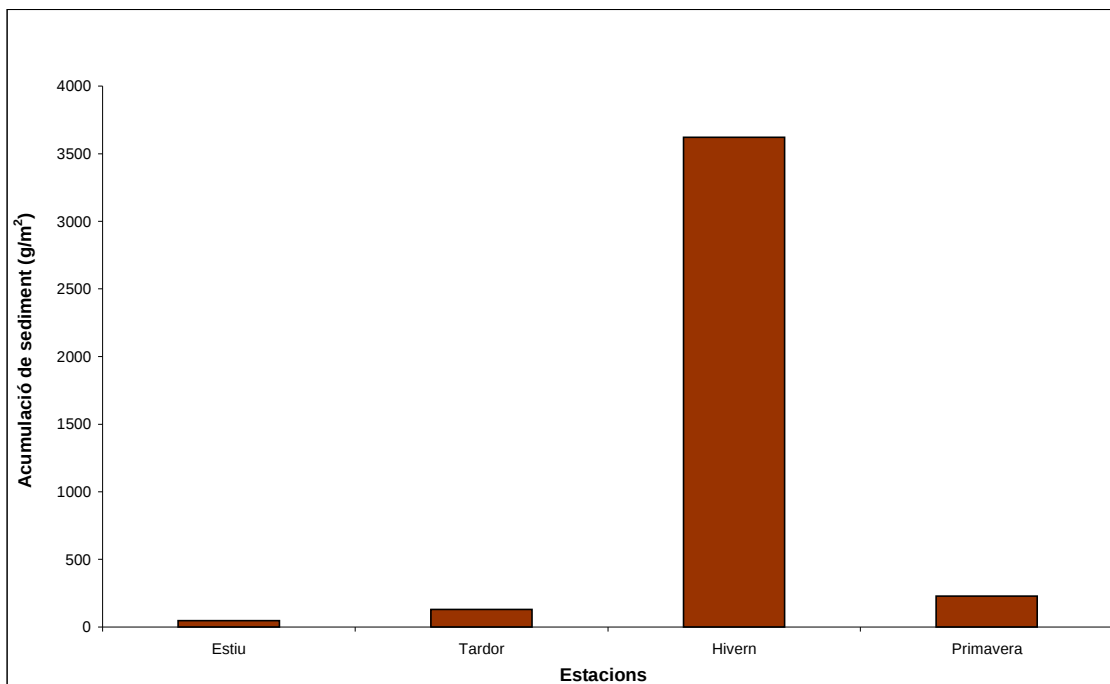


Figura 4.1.- Acumulació de sediments a S1 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

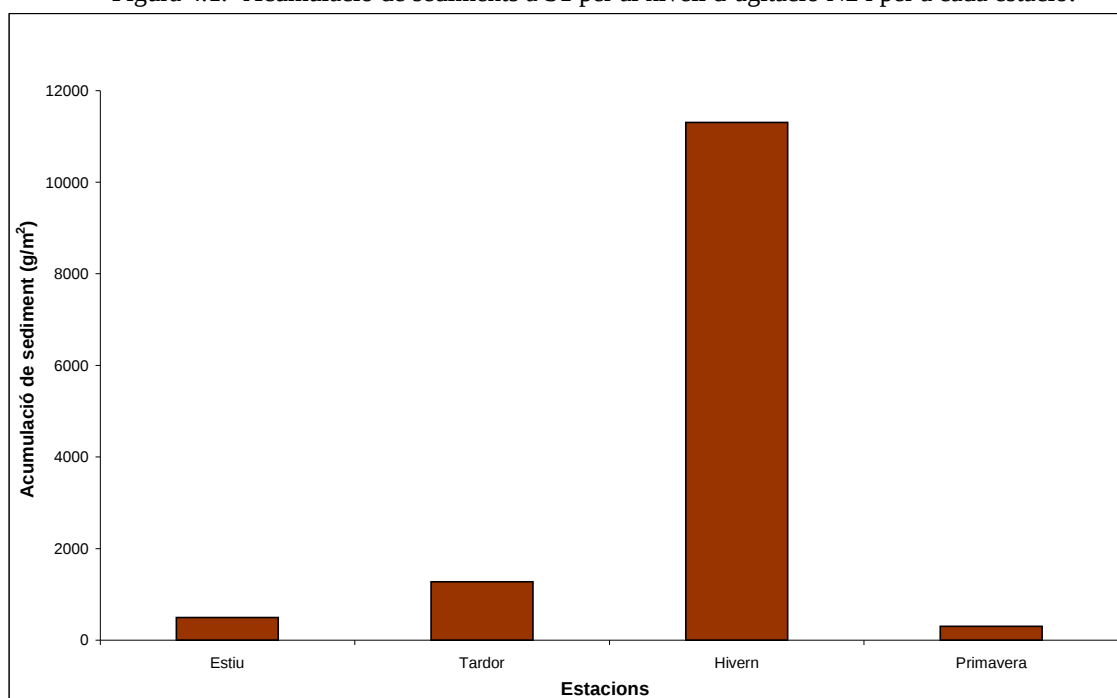


Figura 4.2.- Acumulació de sediments a S1 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

4.1.2.- Variabilitat temporal a S2

De les figures obtingudes per a la secció S2, s'observa que els resultats són diferents depenent si és nivell d'agitació N2 o N3. A la figura 4.3 la primavera és l'estació on es presenta una major quantitat de sediment fi acumulat seguida de l'hivern, l'estiu i la tardor. En canvi, a la figura 4.4, torna a ser l'hivern l'estació de més acumulació, mentre que les altres estacions, presenten uns valors d'acumulació relativament semblants.

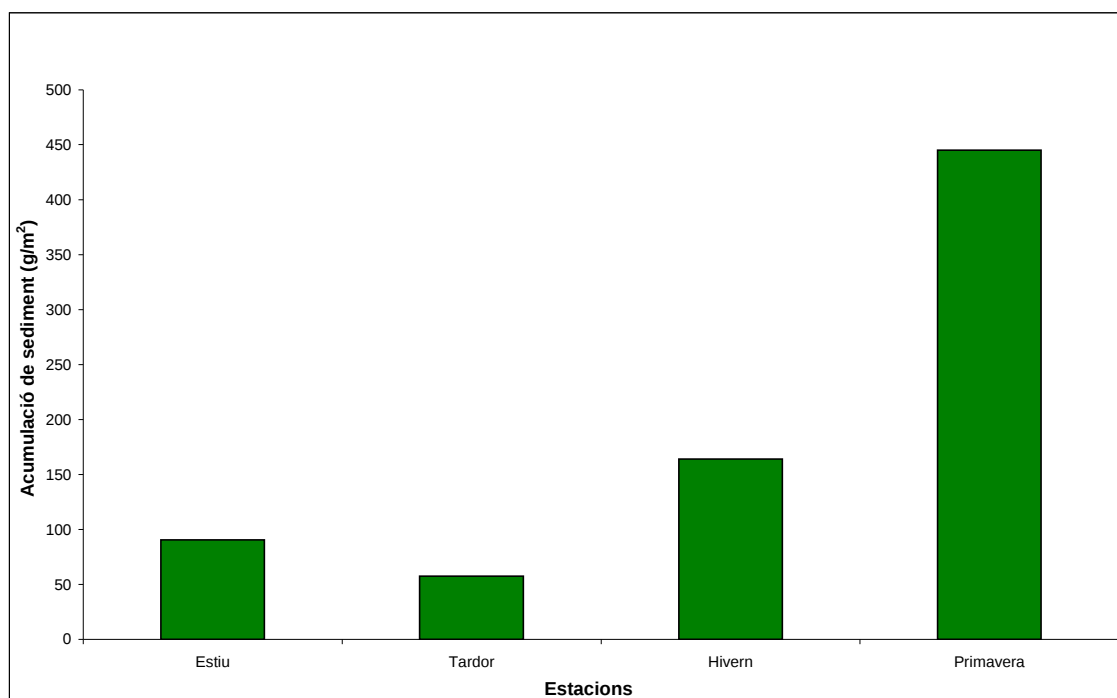


Figura 4.3.- Acumulació de sediments a S2 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

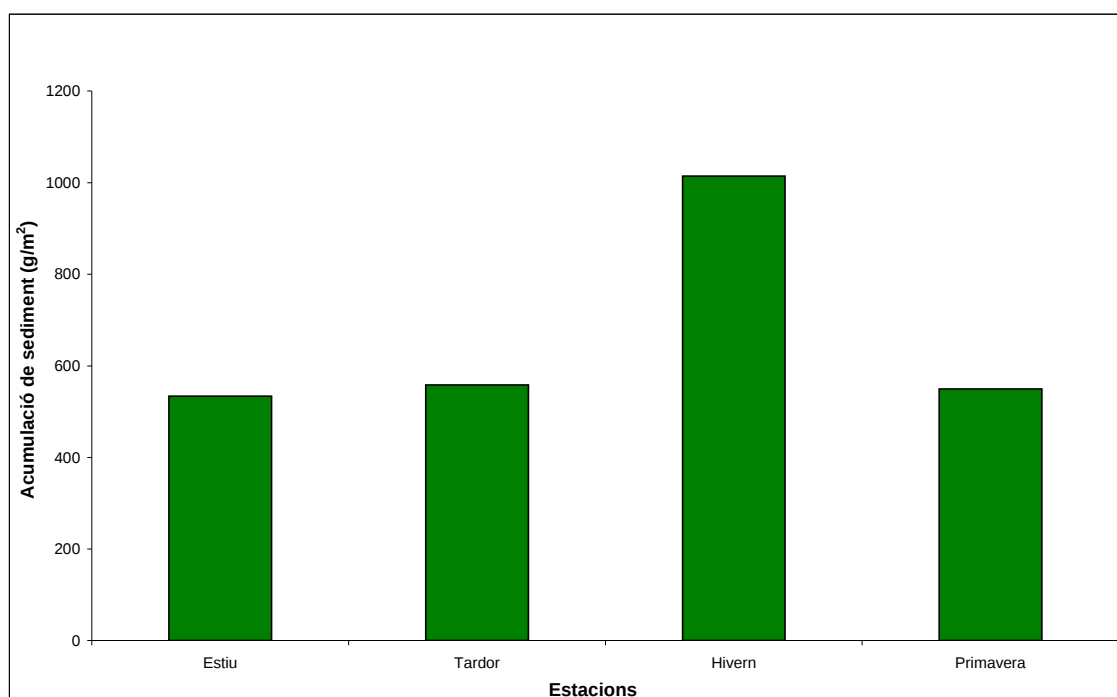


Figura 4.4.- Acumulació de sediments a S2 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

4.1.3.- Variabilitat temporal a S3

De les figures obtingudes a la secció S3 es pot deduir que, tant per al nivell d'agitació N2 com N3, l'hivern és, com a S1, l'estació de l'any on hi ha més acumulació de

sediment fi per aquesta secció. A la resta d'estacions, l'acumulació varia depenent del nivell d'agitació. A la figura 4.5 s'observa que és l'estiu on es presenta menys acumulació, seguit de la primavera i la tardor. En canvi, a la figura 4.6, és la primavera, seguit de l'estiu i la tardor.

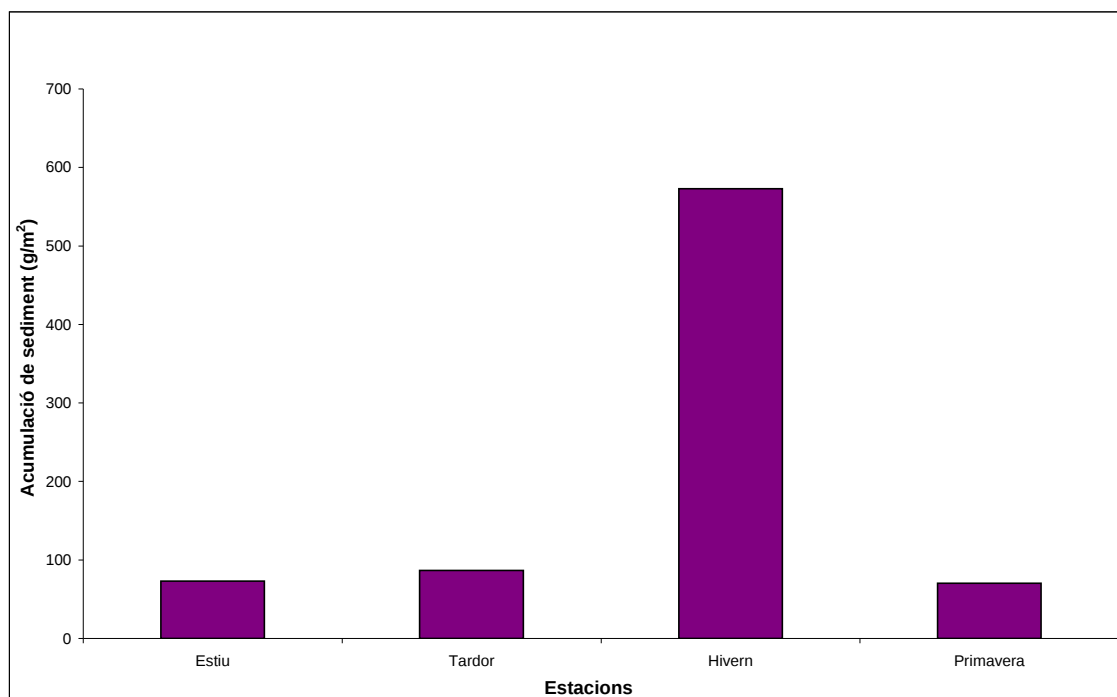


Figura 4.5.- Acumulació de sediments a S3 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

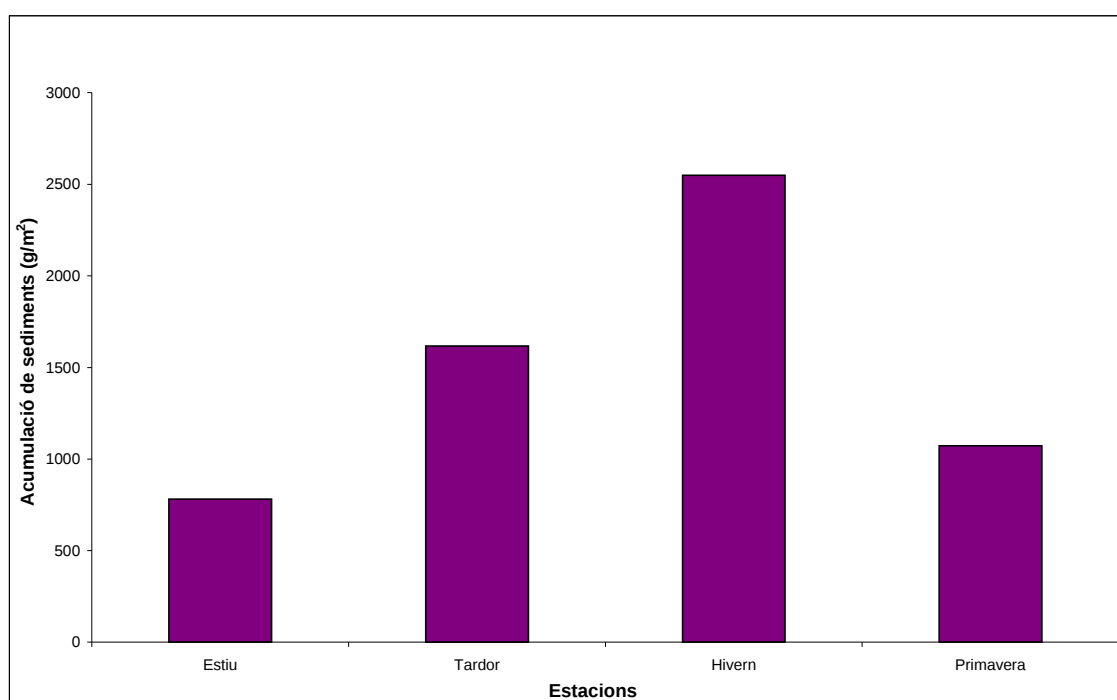


Figura 4.6.- Acumulació de sediments a S3 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

4.1.4.- Variabilitat temporal a S4

De les figures obtingudes a la secció S4 es pot deduir que, tant per al nivell d'agitació N2 com N3, l'hivern és, com a S1 i S3, l'estació de l'any on hi ha més acumulació de sediment fi i la tardor, és l'estació de l'any on menys acumulació d'aquest es presenta. En canvi, la primavera i l'estiu són les estacions que varien segons el nivell d'agitació, tal i com es veu a la figura 4.7 i 4.8.

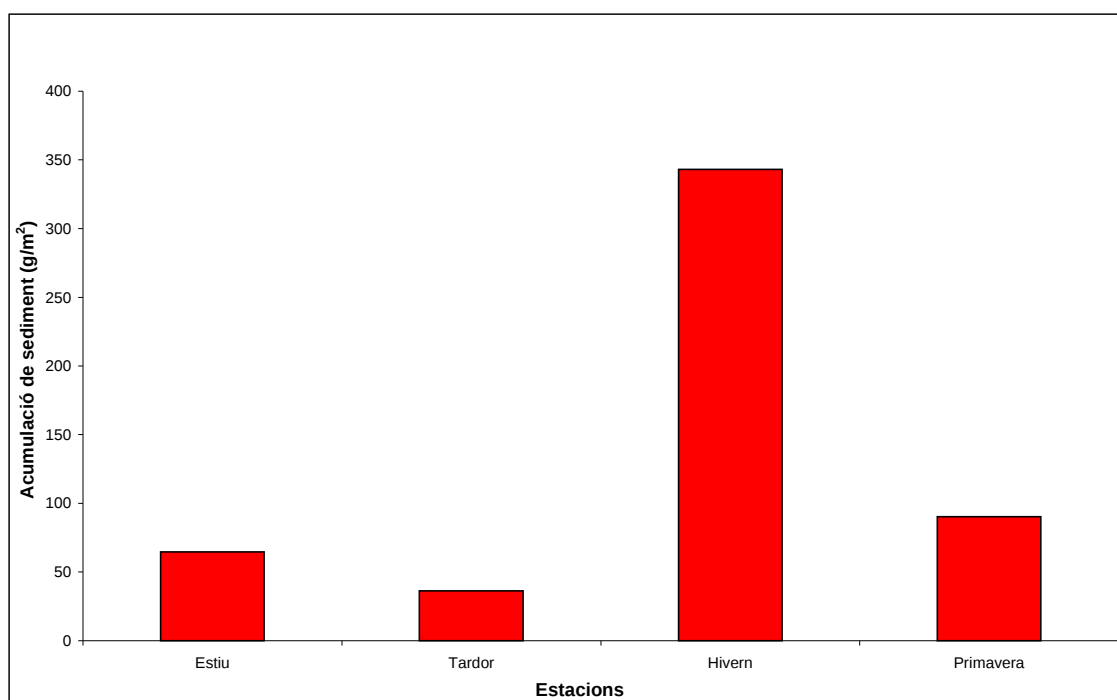


Figura 4.7.- Acumulació de sediments a S4 per al nivell d'agitació N2 i per a cada estació.

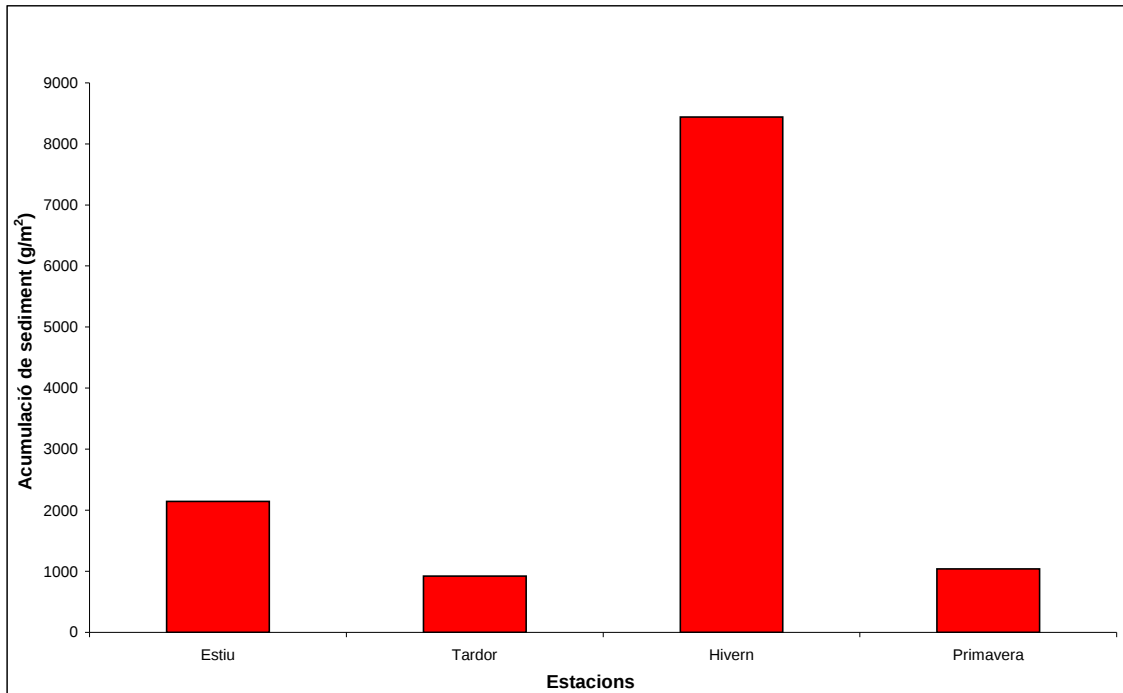


Figura 4.8.- Acumulació de sediments a S4 per al nivell d'agitació N3 i per a cada estació.

Després d'analitzar els resultats obtinguts a cada secció, es pot dir que l'estació on s'observa una major acumulació de sediments, tant per al nivell d'agitació N2 com per N3, és l'hivern, seguidament de l'estiu, la tardor i per últim la primavera. Aquestes dades es poden relacionar amb la precipitació caiguda a la conca ja que, l'època de menys pluges (hivern i estiu) coincideix amb les estacions que presenten més acumulació de sediments a la llera del riu i per tant, menys transport de sediment. El mateix passa a l'època de més pluges (tardor i primavera) que coincideix amb les estacions que presenten menys acumulació de sediments a la conca i per tant, més transport.

4.2.- Variabilitat espacial de l'acumulació del sediment fi al tram d'estudi

En aquest anàlisi espacial es pretén analitzar la diferència d'acumulació de sediment fi entre les diferents seccions (S1, S2, S3, S4) per tal de veure si hi ha algun patró entre elles o no, així com si hi ha alguna tendència pel que fa a les acumulacions en la direcció longitudinal del riu (és a dir, aigües avall). Per tal d'obtenir aquests resultats, s'ha fet una mitjana (ja que s'ha estudiat la variació espacial per separat per N2 i N3 i no s'han trobat tendències diferents) dels dos nivells d'agitació (N2 i N3). Les figures 4.9, 4.10, 4.11 i 4.12 representen els valors obtinguts per aquest anàlisi.

4.2.1.- Variabilitat espacial a l'estiu

Amb aquesta anàlisi espacial es pretén trobar un patró d'acumulació en direcció aigües avall, és a dir, si augmenta l'acumulació de sediment fi de S1 a S4 per a la mateixa estació. I com es pot veure a la figura 4.9, per a l'estiu sí que es compleix aquesta tendència. Com es pot observar, l'acumulació de sediment fi a les diferents seccions per aquesta estació va augmentant de S1 a S4, sent aquesta última la secció del riu per a l'estació d'estiu que més acumulació presenta.

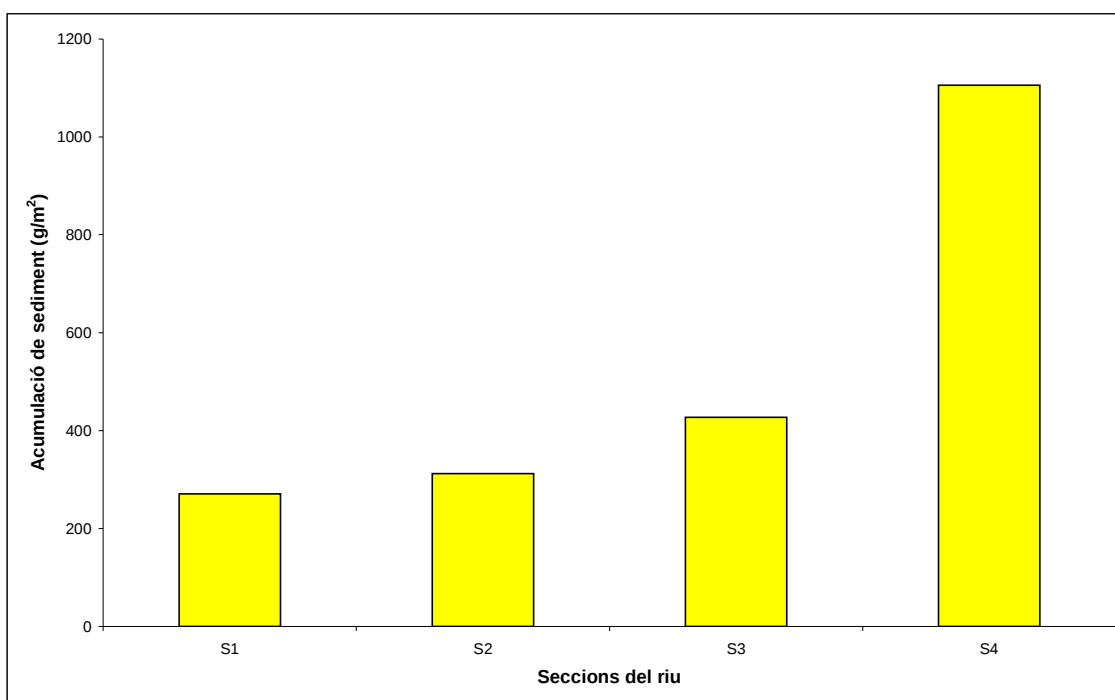


Figura 4.9.- Acumulació de sediments a l'estiu per a cada secció del riu.

4.2.2.- Variabilitat espacial a la tardor

Per aquesta estació s'observa a la figura 4.10 que a la secció S1 el riu ja presenta grans nivells d'acumulació de sediment fi que disminueixen al arribar a S2. En canvi, a la secció S3 hi ha un augment important de l'acumulació de sediment però torna a disminuir en arribar a S4.

4.2.3.- Variabilitat espacial a l'hivern

La figura 4.11 permet observar que a la secció S1 hi ha una gran quantitat de sediment fi acumulat però que disminueix considerablement a S2. A partir d'aquí, la tendència és d'augmentar aigües avall, es a dir, s'incrementa l'acumulació d'aquest sediment a S3 i més a S4.

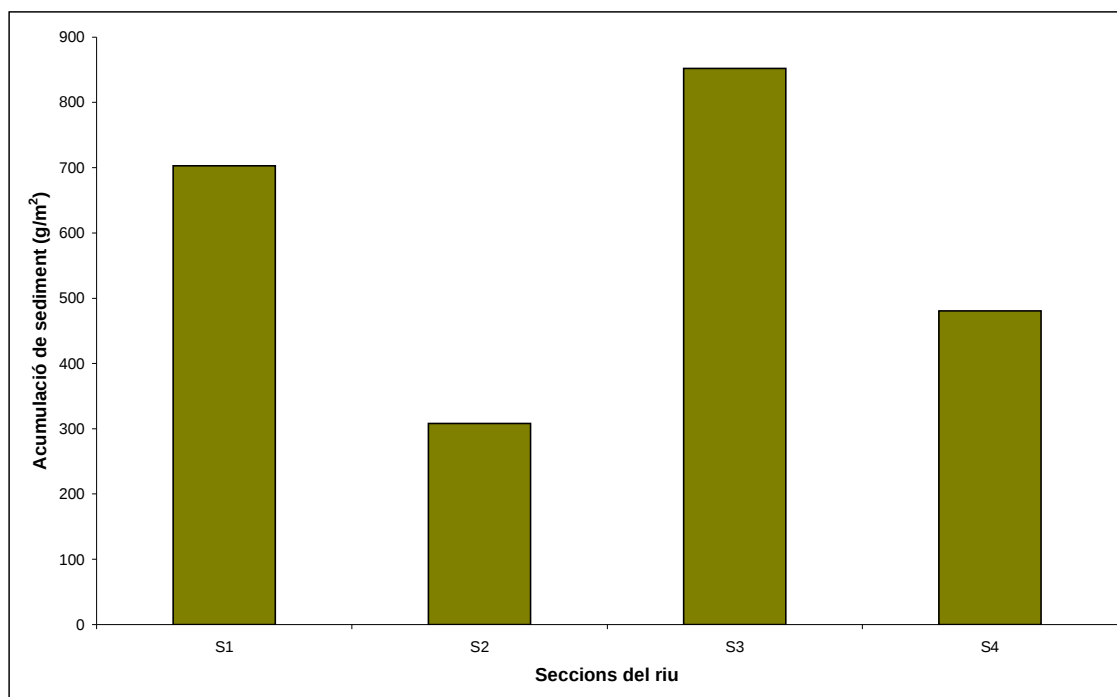


Figura 4.10.- Acumulació de sediments a la tardor per a cada secció del riu.

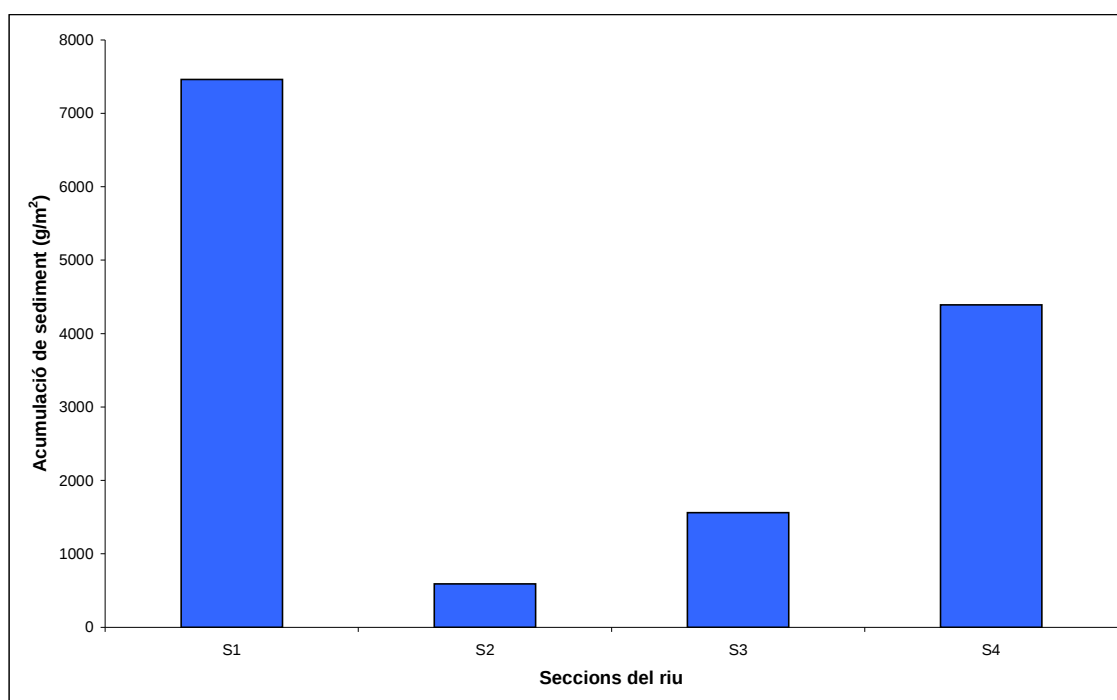


Figura 4.11.- Acumulació de sediments a l'hivern per a cada secció del riu.

4.2.4.- Variabilitat espacial a la primavera

Com es pot observar a la figura 4.12, a la primavera, l'acumulació de sediment fi a les diferents seccions va augmentant de S1 a S3 però, a S4, hi ha una lleugera disminució de l'acumulació de sediment.

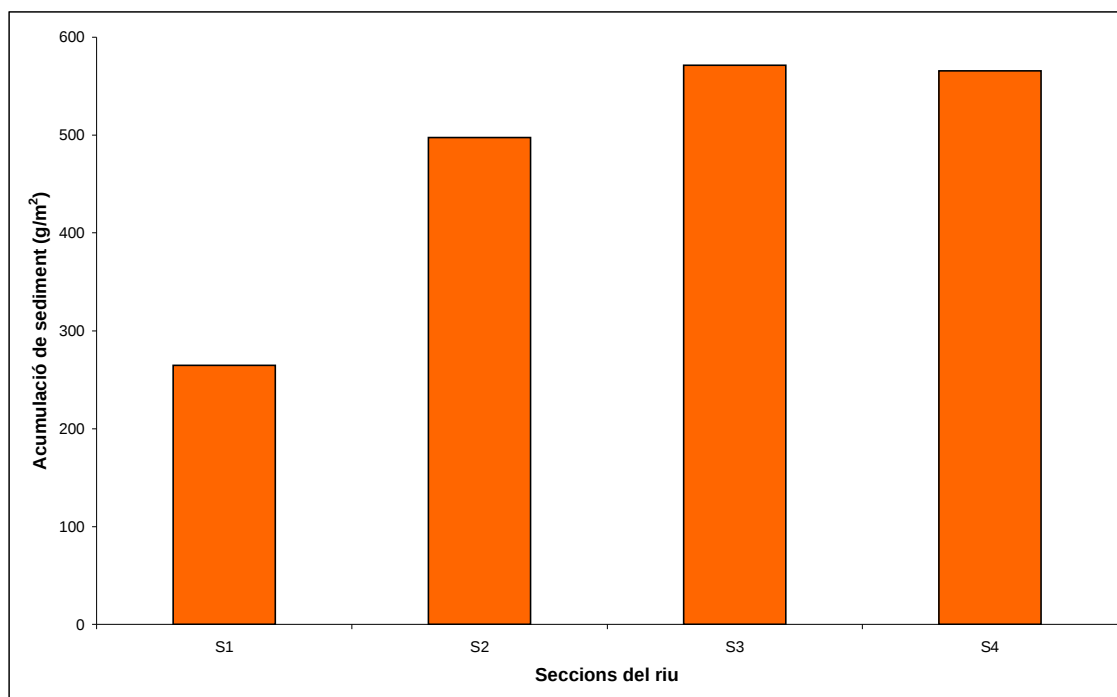


Figura 4.12.- Acumulació de sediments a la primavera per a cada secció del riu.

Observant les figures anteriors no es pot concloure que s'hagi trobat un patró clar d'acumulació en direcció aigües avall, però sí que es pot observar que a la majoria de les estacions hi ha una tendència a l'augment de l'acumulació de sediment fi de S1 a S4. L'estació on queda més clarament reflectida aquesta tendència és a l'estiu (figura 4.9), que justament coincideix amb mesos de poca pluja a la conca permetent així una millor observació del patró de seguiment de l'acumulació d'aquest sediment. Per contra, l'estació que té una menor tendència d'augmentar l'acumulació de sediment aigües avall és la tardor (figura 4.10), coincidint amb l'estació amb els mesos més plujosos de la conca, per tant, una estació on els sediments es mouen més, dificultant l'observació d'aquest patró.

4.3.- Variabilitat temporal i espacial a cada secció

Amb aquesta anàlisi s'estudia la variabilitat en l'acumulació de sediment fi dintre de cadascuna de les seccions, és a dir, diferenciant entre les acumulacions al marge dret, al centre i al marge esquerre, per veure les diferències entre elles i la seva evolució en el temps. La taula 4.1 i les figures 4.13, 4.14, 4.15 i 4.16 representen aquests valors.

Taula 4.1.- Sediment acumulat a S1, S2, S3 i S4 en el marge dret, centre i marge esquerre, en grams, per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions, calculat mitjançant la equació 1.

		Estiu	Tardor	Hivern	Primavera
S1	Marge dret (g)	802,48	2328,89	9744,81	1777,48
	Centre (g)	1447,09	3453,93	82187,34	914,92
	Marge esq. (g)	2401,38	327,35	248,96	2065,22
S2	Marge dret (g)	2153,88	3075,42	2185,47	3095,17
	Centre (g)	1958,52	1447,31	555,22	3329,89
	Marge esq. (g)	2984,09	2444,22	8023,99	1901,89
S3	Marge dret (g)	5562,25	1058,83	11346,07	3615,10
	Centre (g)	1733,19	14426,62	5605,03	7048,62
	Marge esq. (g)	2830,03	9816,40	6880,04	713,26
S4	Marge dret (g)	3896,51	3524,39	46310,14	1407,61
	Centre (g)	2376,11	1438,09	4665,63	2129,16
	Marge esq. (g)	4600,97	1074,53	3425,63	4883,44

De la figura 4.13 es pot deduir que, a S1, l'estiu es l'època on més acumulació de sediment hi ha al marge esquerre. A la tardor, la quantitat acumulada augmenta de forma semblant tant al centre com al marge dret, però al marge esquerre disminueix. A l'hivern, al centre i al marge dret l'acumulació continua augmentat, mentre que al marge esquerre continua disminuint. Per acabar, a la primavera, al centre i al marge dret l'acumulació disminueix, en canvi, al marge esquerra augmenta.

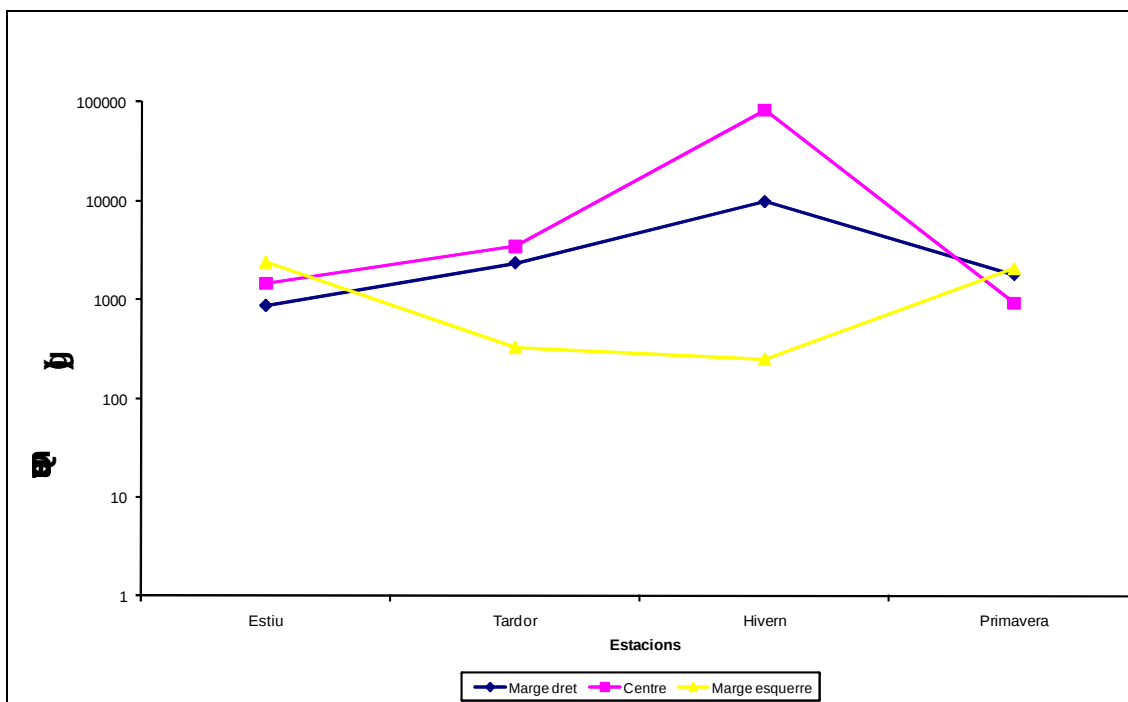


Figura 4.13.- Quantitat de sediment acumulat a S1 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

A S2, figura 4.14, a l'estiu, es pot observar, que on més acumulació de sediment hi ha és al marge esquerre. A la tardor, la quantitat acumulada disminueix de forma semblant tant al centre com al marge esquerre, però al marge dret augmenta. A l'hivern, al centre i al marge dret l'acumulació disminueix, mentre que al marge esquerre augmenta. Per acabar, a la primavera, al centre i al marge dret l'acumulació augmenta, en canvi, al marge esquerra disminueix.

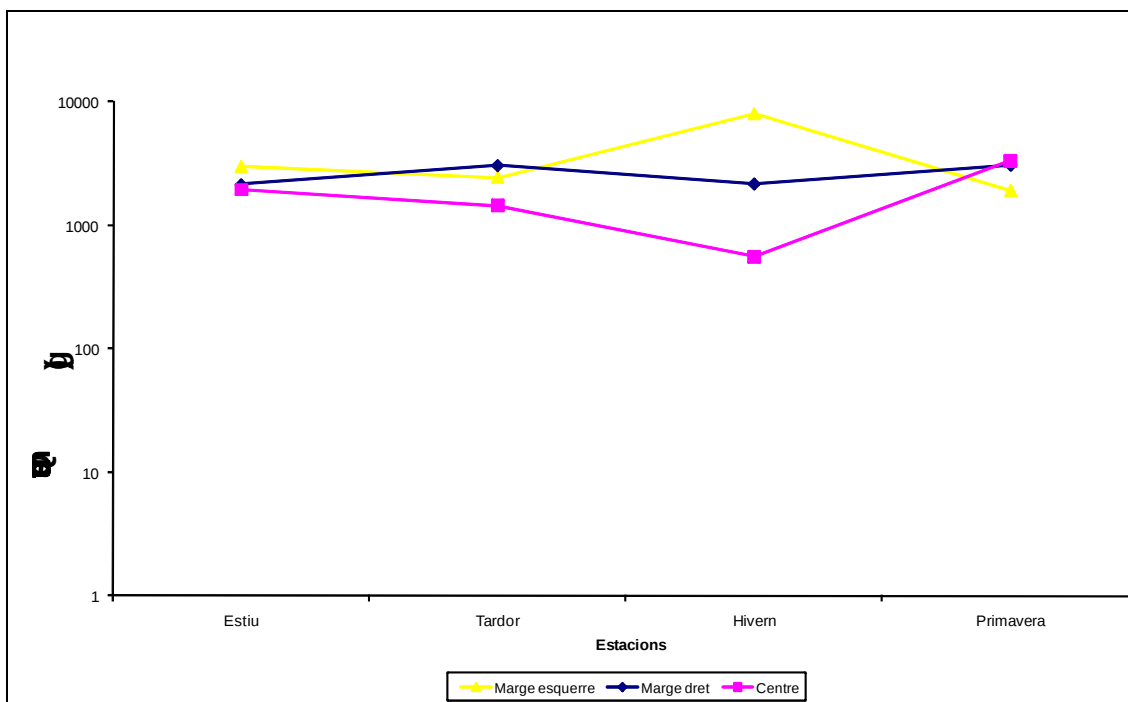


Figura 4.14.- Quantitat de sediment acumulat a S2 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

A la figura 4.15, per S3, a l'estiu, es pot observar, que on més acumulació de sediment hi ha és al marge dret. A la tardor, la quantitat acumulada augmenta de forma semblant tant al centre com al marge esquerre, però al marge dret disminueix. A l'hivern, al centre i al marge esquerre l'acumulació disminueix, mentre que al marge dret augmenta. Per acabar, a la primavera, l'acumulació als dos marges, dret i esquerre, disminueix, en canvi, al centre augmenta.

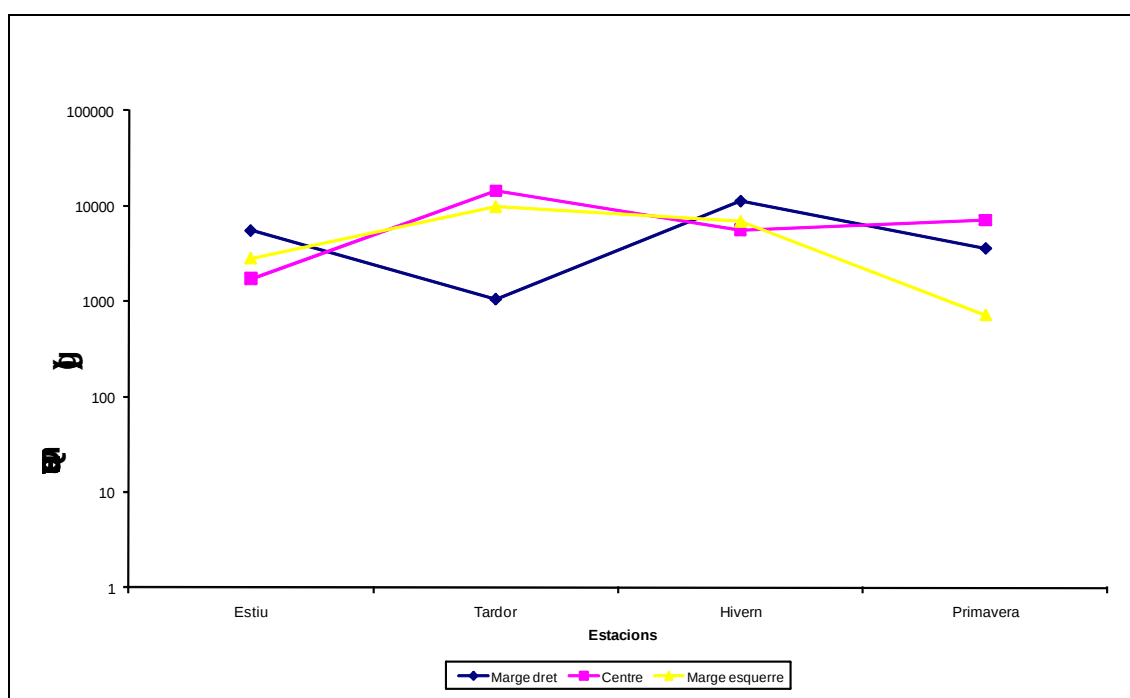


Figura 4.15.- Quantitat de sediment acumulat a S3 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Finalment, a la figura 4.16, a S4, a l'estiu, es pot observar, que on més acumulació de sediment hi ha és al marge esquerre. A la tardor, la quantitat acumulada disminueix de forma semblant a tot arreu. A l'hivern, l'acumulació augmenta tant als marges com al centre. Per acabar, a la primavera, al centre i al marge dret l'acumulació disminueix, en canvi, al marge esquerra augmenta.

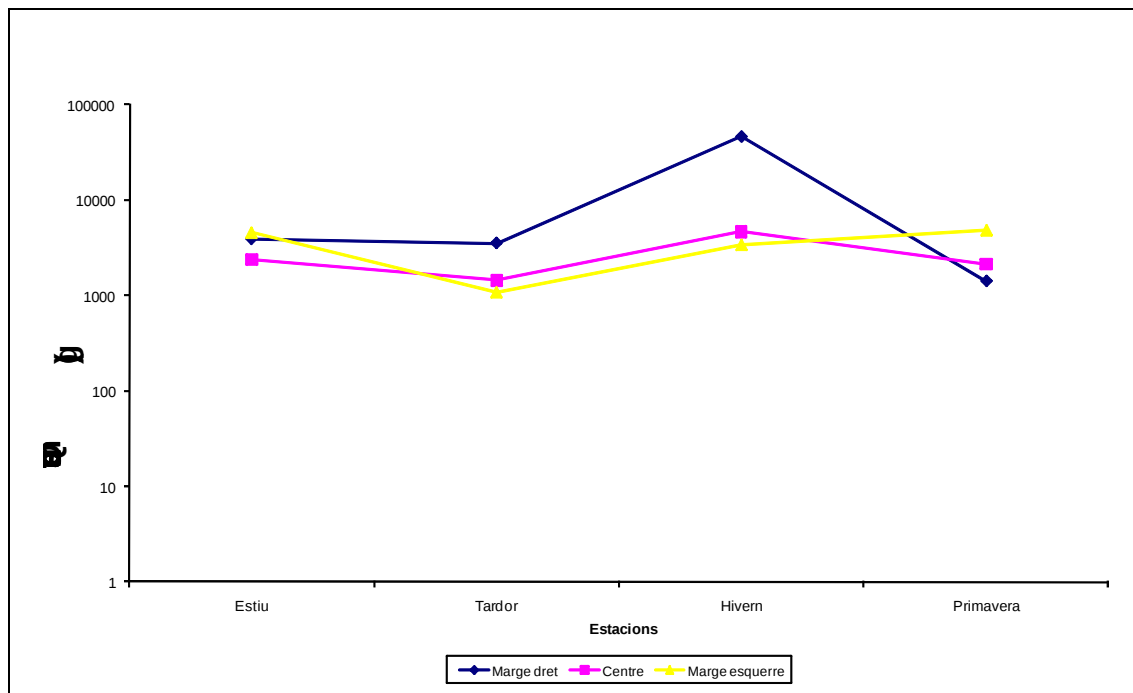


Figura 4.16.- Quantitat de sediment acumulat a S4 en el marge dret, centre i marge esquerre per al nivell d'agitació N3, per a cadascuna de les estacions.

Les dades indiquen que no hi ha un patró clar d'acumulació en les diferents seccions al llarg de les estacions, fet que suggereix un alt dinamisme dels sediments a la llera i els constants canvis que experimenta la seva morfologia en curts períodes de temps.

4.4.- Relació entre les acumulacions de sediment, la hidrologia i el transport de sediment

Per a relacionar l'acumulació de sediments amb el transport i la hidrologia s'han comparat els resultats totals estacionals del sediment acumulat amb els resultats de transport calculats a Capella per aquestes estacions. A la taula 4.2 es pot observar les dades obtingudes d'acumulació total de sediment per a cada estació. Aquestes dades són el resultat del sumatori del sediment acumulat a cadascuna de les seccions (S1, S2, S3 i S4) per al nivell d'agitació N3, per les diferents estacions d'estudi. El sediment acumulat a cadascuna de les seccions s'ha calculat extrapolant els valors d'acumulació a la superfície total de cada secció per al nivell d'agitació N3.

Taula 4.2.- Sediment total acumulat, per a cada estació, calculat mitjançant la equació 2.

	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera
Sediment acumulat (t)	147,17	196,81	861,95	139,23

Per tal de comparar aquestes dades d'acumulació total de sediment amb el transport, s'han de tenir en compte les crescudes ocorregudes a la conca, per a cadascuna de les estacions d'estudi, ja que una part molt important de la càrrega transportada anualment es produeix durant aquestes avingudes d'alta magnitud. A les taules 4.3, 4.4, 4.5 i 4.6 es recullen totes les dades relacionades amb aquestes crescudes. Les variables utilitzades seran les mateixes per a totes les taules de caracterització de les crescudes i són les següents: 1) Data: és el dia en el qual es produeix la crescuda; 2) Q mig (m^3/s): és el cabal mig de l'episodi; 3) Q punta (m^3/s): és el cabal pic, és a dir, el màxim cabal que ha circulat per aquesta crescuda; 4) V escolament (hm^3): és la quantitat d'aigua, de la precipitació ocorreguda, que escola aigües avall de la conca; 5) P retorn (anys): és el període de retorn del Q màxim, és a dir, el temps que trigaria a produir-se una crescuda similar; 6) C mitja i C màxima (g/l): representen les concentracions mitjanes i màximes,

respectivament, de l'aigua durant la crescuda; 7) Transport total (t): representa el pes total de sediment en suspensió transportat durant la crescuda, mesurat en tones.

Es presenta a continuació l'anàlisi individualitzada de cada crescuda registrada i agrupades per estacions. Per a cadascuna d'elles es presenten: 1) una taula resum amb els valors que caracteritzen la crescuda; 2) el gràfic de transport de sediment per a cadascuna de les estacions.

4.4.1.- Crescudes ocorregudes a l'estiu

Les crescudes considerades en aquest període són les ocorregudes entre l'1 de juny i el 31 d'agost de 2007. Com es pot veure a la taula 4.3, hi ha un total de cinc crescudes, que també apareixen reflectides a la figura 4.17, on s'observa el transport de sediment per aquesta època d'estudi.

Taula 4.3.- Crescudes ocorregudes a l'estiu de l'any 2007 (Del 01/06/2007 a 31/08/2007).

Data	Q mig (m ³ /s)	Q punta (m ³ /s)	V escolament (hm ³)	P retorn (anys)	C mitja (g/l)	C màxima (g/l)	T total (t)
04/06/2007	2,67	3,39	0,07	0,51	1,13	1,25	84
05/06/2007	4,48	9,64	0,20	0,55	0,82	0,94	95
12/06/2007	2,23	3,84	0,17	0,51	0,66	1,20	109
21/07/2007	5,62	16,72	0,49	0,61	17,99	58,31	9821
12/08/2007	2,82	9,64	0,09	0,55	19,84	62,13	2714

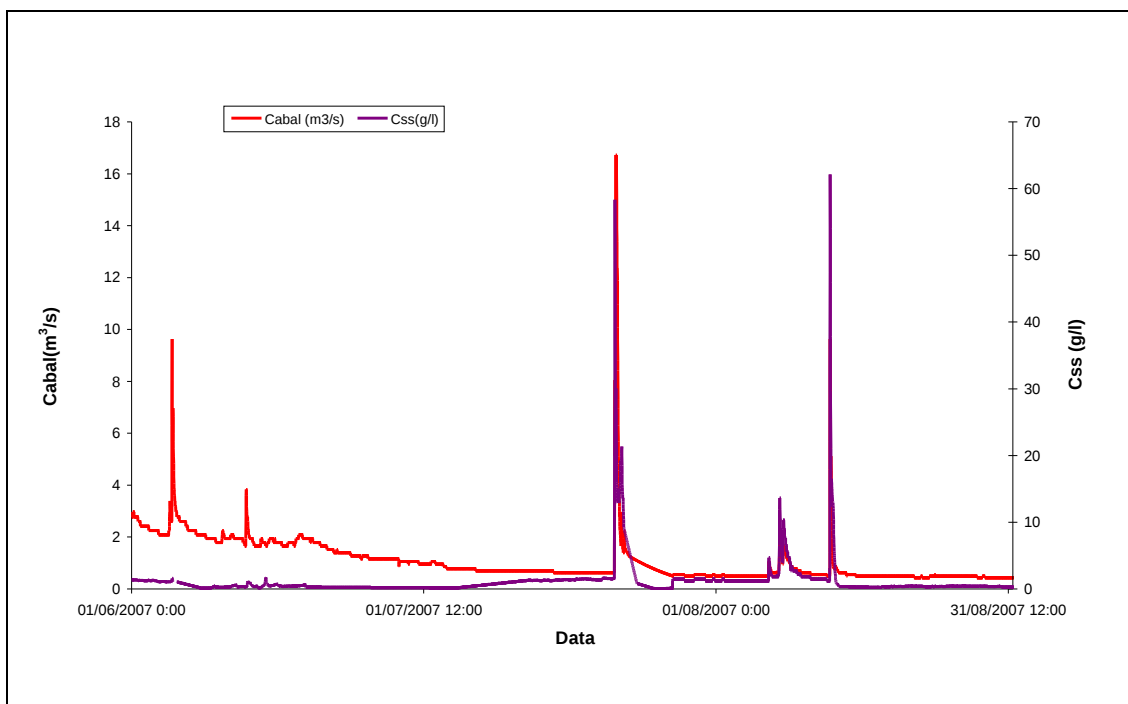


Figura 4.17.- Transport de sediment ocorregut durant l'estiu (01/06/07 fins 31/08/07).

4.4.2.- Crescudes ocorregudes a la tardor

Les crescudes considerades en aquest període són les ocorregudes entre l'1 de setembre i el 31 de novembre de 2007. Com es pot veure a la taula 4.4, per aquesta estació, hi ha un total de sis crescudes, que també apareixen reflectides a la figura 4.18, on s'observa el transport de sediment per aquesta època d'estudi.

Taula 4.4.- Crescudes ocorregudes a la tardor de l'any 2007 (Del 01/09/2007 a 31/11/2007).

Data	Q mig (m³/s)	Q punta (m³/s)	V escolament (hm³)	P retorn (anys)	C mitja (g/l)	C màxima (g/l)	T total (t)
17/09/2007	1,55	4,84	0,11	0,52	13,15	50,82	1742
23/09/2007	0,52	0,70	0,06	0,49	0,06	0,06	3
24/09/2007	0,54	0,87	0,08	0,49	0,06	0,06	5
04/10/2007	1,42	3,61	0,05	0,51	0,06	0,06	3
08/10/2007	2,32	5,70	0,06	0,52	9,65	16,97	691
21/11/2007	3,88	8,43	0,00	0,54	6,48	54,74	6897

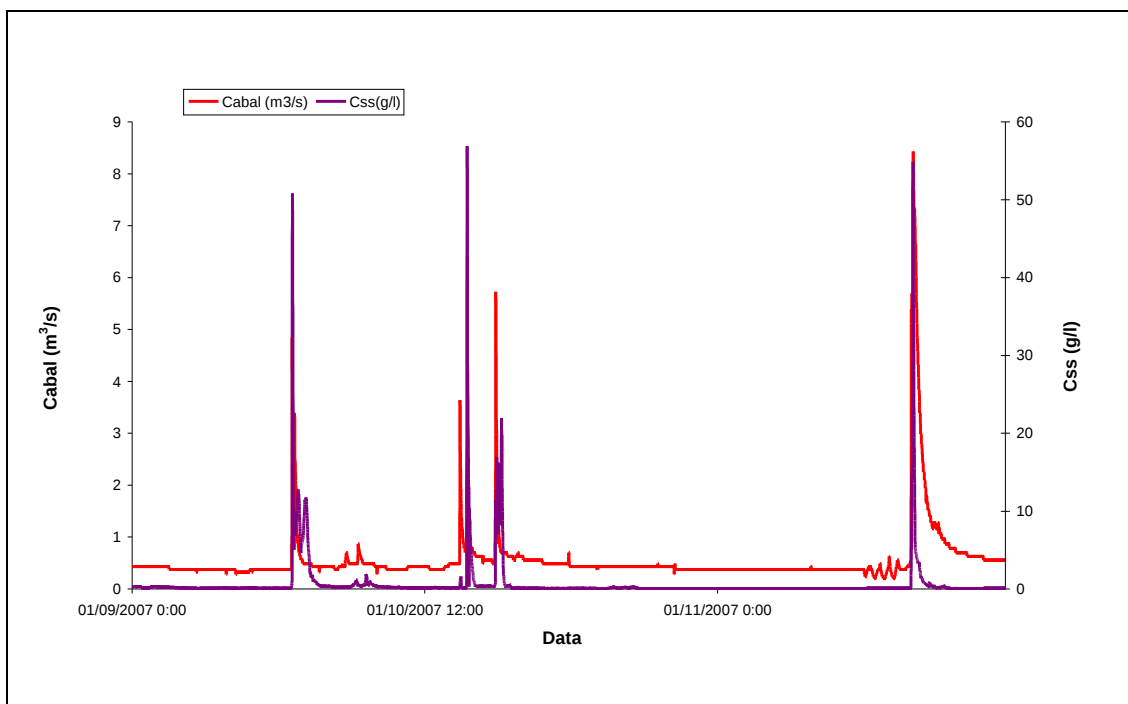


Figura 4.18.- Transport de sediment ocorregut durant la tardor (01/09/07 fins 31/11/07).

4.4.3.- Crescudes ocorregudes a l'hivern

Les crescudes considerades en aquest període són les ocorregudes entre l'1 de desembre de 2007 i el 29 de febrer de 2008. Com es pot veure a la taula 4.5, hi ha un total de quatre crescudes, essent aquesta l'estació que menys crescudes presenta. A la figura 4.19, s'observa el transport de sediment per aquesta època d'estudi.

Taula 4.5.- Crescudes ocorregudes a l'hivern de l'any 2008 (Del 01/12/2007 a 29/02/2008).

Data	Q mig (m³/s)	Q punta (m³/s)	V escolament (hm³)	P retorn (anys)	C mitja (g/l)	C màxima (g/l)	T total (t)
03/01/2008	1,26	2,79	0,10	0,50	4,39	8,66	437
11/01/2008	1,89	5,40	0,00	0,52	9,49	58,89	3049
16/01/2008	1,14	1,65	0,18	0,50	2,11	9,54	391
04/02/2008	4,11	9,22	0,20	0,55	42,59	89,18	8987

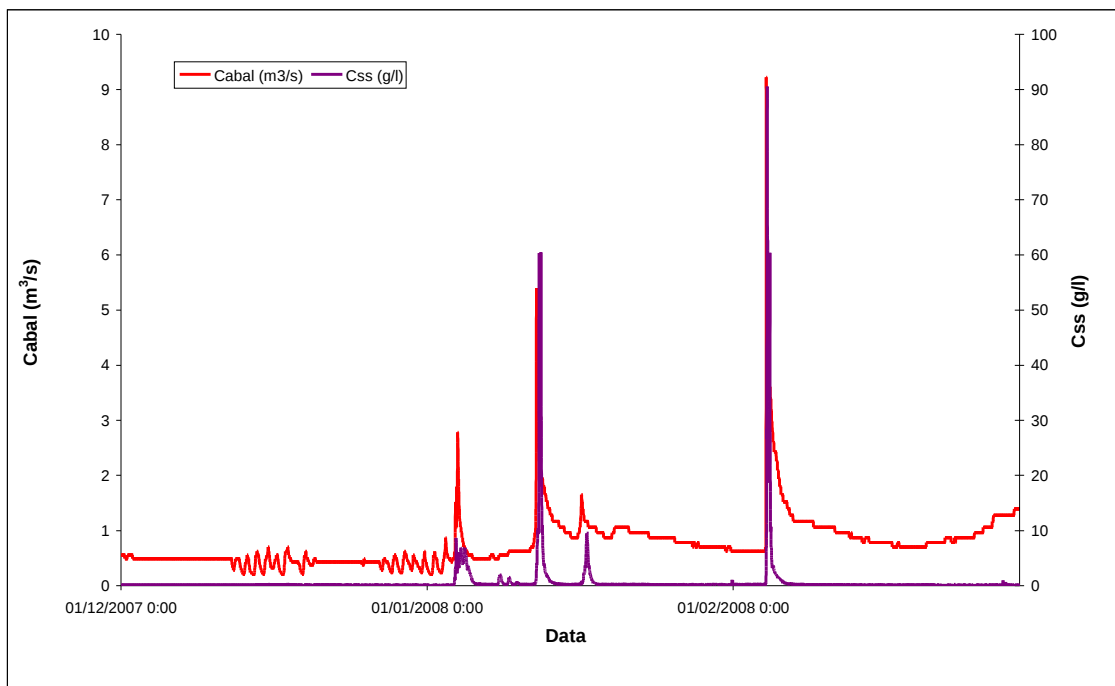


Figura 4.19.- Transport de sediment ocorregut durant l'hivern (01/12/07 fins 29/02/08).

4.4.4.- Crescudes ocorregudes a la primavera

Les crescudes considerades en aquest període són les ocorregudes entre l'1 de març i el 31 de maig de 2008. Com es pot veure a la taula 4.6, hi ha un total de onze crescudes, essent aquesta l'estació que més crescudes presenta. A la figura 4.20, s'observa el transport de sediment per aquesta època d'estudi.

Taula 4.6.- Crescudes ocorregudes a la primavera de l'any 2008 (Del 01/03/2008 a 31/05/2008).

Data	Q mig (m³/s)	Q punta (m³/s)	V escolament (hm³)	P retorn (anys)	C mitja (g/l)	C màxima (g/l)	T total (t)
08/04/2008	13,93	31,59	3,10	0,75	13,73	63,88	54001
10/04/2008	30,48	53,01	4,96	1,02	4,40	14,45	25318
17/04/2008	24,92	67,96	5,34	1,25	2,98	24,23	30739
19/04/2008	34,60	78,74	12,05	1,46	1,26	7,33	23332
07/05/2008	7,44	9,22	0,98	0,55	0,03	0,20	63
10/05/2008	6,34	6,98	1,13	0,53	0,02	0,09	27
13/05/2008	6,66	7,68	0,94	0,54	0,08	0,25	80
14/05/2008	14,28	18,58	2,24	0,63	1,08	3,89	2562
16/05/2008	23,20	32,50	2,82	0,76	1,41	6,58	4654
17/05/2008	22,60	35,32	1,20	0,79	3,61	9,69	4621
23/05/2008	27,95	46,98	4,18	0,93	2,85	10,06	13269

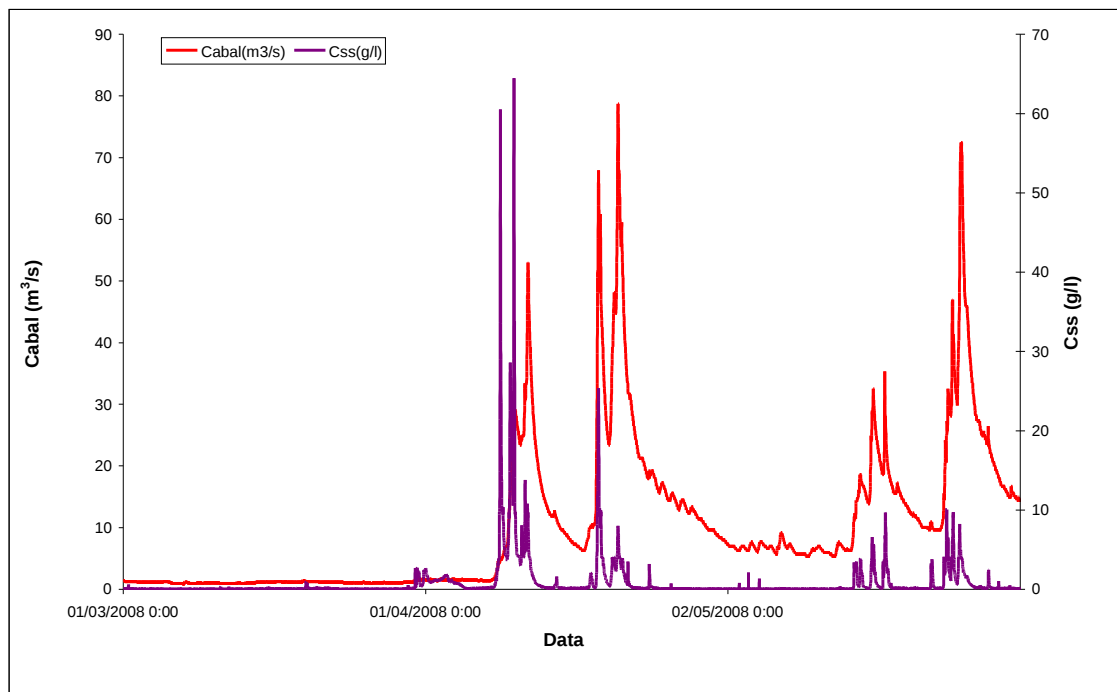


Figura 4.20.- Transport de sediment ocorregut durant la primavera (01/03/08 fins 31/05/08).

En aquest treball s'ha analitzat el transport de sediment agrupant aquestes crescudes per cada estació de l'any. A la taula 4.7 es poden observar les dades obtingudes de transport total de sediment per cada estació. Aquestes dades de transport son el resultat del producte entre el cabal i la concentració de sediment acumulat de les mostres directes que es van agafar a cada secció de la conca de manera mes o menys regular al llarg de cada estació. Tot això es reflecteix a la figura 4.21, on es poden observar aquestos resultats per a tot el període d'estudi (1 de Juny de 2007 fins al 31 de Maig de 2008).

Taula 4.7.- Transport total de sediment per a cada estació.

	Estiu	Tardor	Hivern	Primavera
Transport total (t)	19617	12327	10827	166788

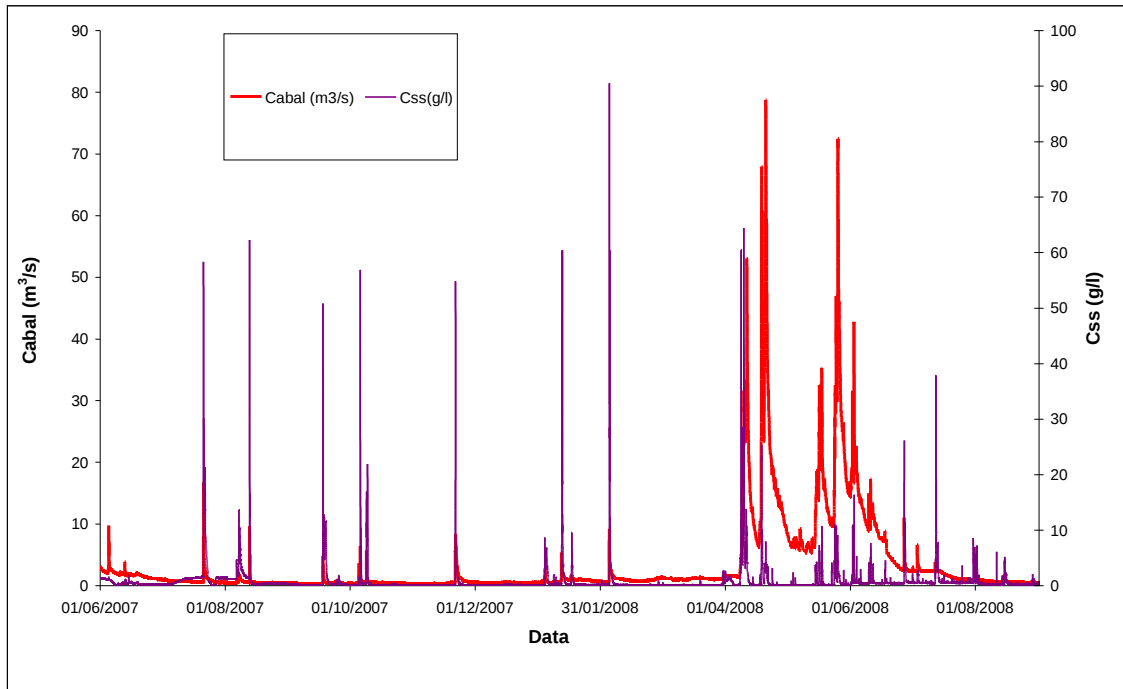


Figura 4.21.- Transport de sediment ocorregut durant tot el període gràfic d'estudi.

Un cop obtingudes les dades d'acumulació total de sediment i les de transport total d'aquest, per a cada estació, es relacionen amb la hidrologia, per examinar si hi ha relació a les diverses estacions pel que fa a l'acumulació de sediment i el transport, tenint en compte les crescudes ocorregudes en el període d'estudi. Dels resultats obtinguts a les taules 4.2 i 4.7, respectivament, s'obté la figura 4.22, que presenta aquesta relació entre els resultats totals de transport i acumulació de sediment per a cadascuna de les estacions.

Es pot observar que la primavera és l'estació on hi ha més transport de sediment i menys acumulació. A l'hivern passa el contrari, hi ha menys transport i més acumulació de sediment. L'estació d'estiu i de tardor presenten poc transport i poca acumulació però sense arribar als mínims de l'hivern. Aquesta mateixa relació, entre l'acumulació de sediment i el transport per a cada estació, representada de forma lineal, ens permet observar com augmenta o disminueix l'acumulació de sediment en vers al transport d'aquest. Això és el que es representa a la figura 4.23.

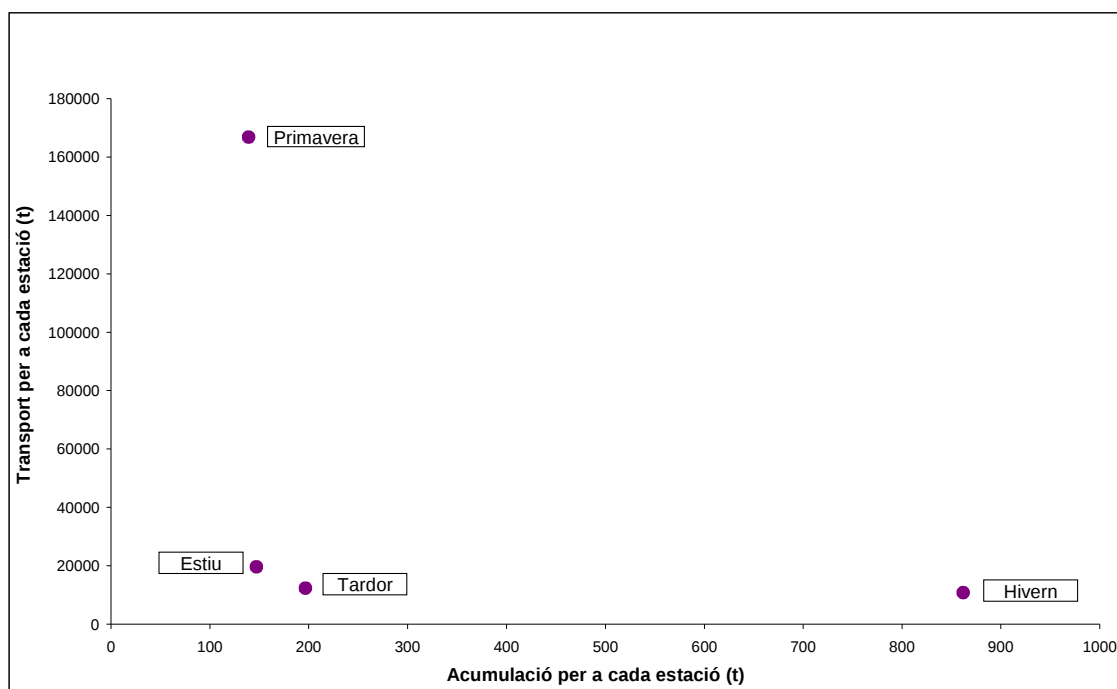


Figura 4.22.- Relació del transport i l'acumulació de sediment per a cada estació.

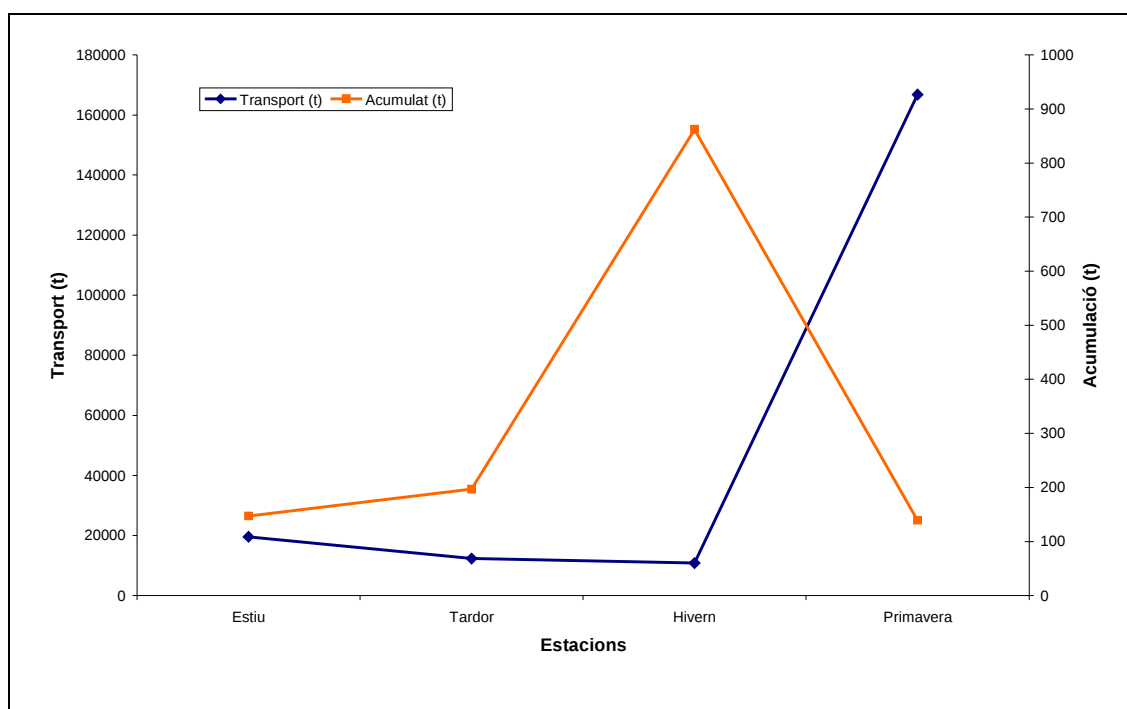


Figura 4.23.- Transport i acumulació de sediment per a cada estació.

S'observa que l'acumulació de sediment va augmentant de l'estiu a la tardor i de la tardor a l'hivern agafant el seu màxim nivell en aquesta última estació (862 t). Amb l'estació de les pluges, la primavera, s'observa una reducció dràstica en l'acumulació de

sediment, que arriba a valors mínims (139 t). Pel que fa al transport, aquest va disminuint de l'estiu a la tardor i de la tardor a l'hivern, on presenta el valor més baix (10827 t), però a la primavera es produeix un augment considerable, arribant al valor més alt (166788 t).

Si a més a més es relacionen aquests gràfics amb les crescudes ocorregudes a les diferents estacions del període d'estudi, podem observar que a l'estiu, tardor i hivern hi ha relativament poques crescudes i aquestes, són de poca magnitud; es aleshores quan l'acumulació de sediment va augmentant de l'estiu a la tardor i de la tardor a l'hivern, agafant, en aquesta última estació, el seu màxim nivell. Mentrestant, el transport, a l'estació d'hivern, és el mínim de les quatre estacions (10827 t). Posteriorment a la primavera, on també es produeix el major nombre de crescudes, les quals, són de major magnitud, s'observa un augment considerable en els valors de transport, que després aniran disminuint a les estacions d'estiu i tardor, respectivament. Això produeix una reducció dràstica en l'acumulació de sediment, que arriba a valors mínims per aquesta estació de primavera (139 t). Aquesta dinàmica temporal suggereix que l'acumulació de sediment a la llera varia de manera inversa a la magnitud i nombre de crescudes a cada estació.

5.- CONCLUSIONS

En aquest treball s'ha estudiat la variabilitat temporal i espacial de l'acumulació del sediment fi a la llera del riu Isàbena (conca de l'Ebre) durant el període 2007-2008 mitjançant mesures directes de camp (i.e., cilindre de resuspensió). L'estudi ha analitzat la dinàmica sedimentaria a les diferents estacions de l'any, per trobar patrons que ajudin a entendre la variabilitat temporal de les aportacions de sediment a l'embassament de Barasona, situat aigües avall.

Les principals conclusions d'aquest treball són:

- 1) L'estació on es presenta més quantitat de sediment fi acumulat a la llera del riu és l'hivern i la que menys, la primavera. Aquests resultats coincideixen amb la precipitació i les crescudes ocorregudes a la conca ja que, l'hivern, és l'estació de menys pluges i menys crescudes i la primavera, la de més pluges i més crescudes.
- 2) A la conca, no s'ha trobat un patró definit d'acumulació en direcció aigües avall, excepte a l'estiu on el patró és més evident.
- 3) No s'ha trobat cap tipus de tendència o correlació pel que fa a l'acumulació a les diferents zones de cada secció. Això mostra l'alt dinamisme de la llera de l'Isàbena, sent capaç de canviar la morfologia d'una estació a una altra.
- 4) De la relació de l'acumulació de sediment fi amb el transport i la hidrologia, es pot concloure que a les estacions on hi ha hagut poc transport (estiu, tardor i hivern) l'acumulació de sediment fi ha anat augmentant mentre que, l'estació que ha transportat més (primavera) ha anat seguida d'un descens dràstic de l'acumulació de sediment fi; per tant, a més crescudes, més transport i menys acumulació de sediment fi i a la inversa.

Amb les dades obtingudes de transport total del pes de sediment (veure taula 4.7) i coneixent el valor de la densitat del sediment sec (López-Tarazón et al., 2009) s'ha trobat el volum de sediment que el riu ha dipositat en l'embassament de Barasona durant aquest any d'estudi i amb això, el percentatge que representa de la capacitat total de l'embassament. En un any d'estudi, la capacitat de l'embassament de Barasona s'ha vist reduïda en un 0,15% per les aportacions de l'Isabena. Cal tenir en compte que l'Ésera, que també porta els seus sediments a l'embassament, és tres vegades més gran que l'Isàbena i té la mateixa dinàmica de transport de sediment que aquest, fet que corrobora un cop més el procés d'aterrament crònic que experimenta l'embassament. El treball aporta dades sobre la dinàmica temporal d'un element poc estudiat dels balanços del sediment en rius de muntanya, com és l'emmagatzematge de sediments a la llera, fet que es considera important de cara a la gestió dels rius i de les seves infraestructures, ja que pot ajudar a desenvolupar noves estratègies de maneig.

6.- BIBLIOGRAFIA

ALCÁZAR, J., FERRÁN, I., 1998. La vegetación de ribera de los ríos Ésera y Cinca en el tramo afectado por el vaciado del embalse de Joaquín Costa. *Limnética*, 14: 73 - 82.

AVENDAÑO, C., COBO, R., SANZ, M.E., GÓMEZ, J.L., (1997a). Capacity situation in Spanish reservoirs. *Proceedings of the Nineteenth Congress on Large Dams* 74 (53): 849-862.

AVENDAÑO, C., SANZ, M.E., COBO, R., GÓMEZ, J.L., (1997b). Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationships with the drainage basin area. *Proceedings of the Nineteenth Congress on Large Dams* 74 (54): 863-874.

AVENDAÑO, C., SANZ, M.E., COBO, R., (2000). State of the art of reservoir sedimentation management in Spain. En: *Proceedings of the International workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management*, Japan.

BATALLA, R.J., SALA, M. (1994). Magnitud y frecuencia del transporte fluvial de sedimento en una cuenca mediterránea semihúmeda. *Pirineos*, 143-144: 3-15.

COLLINS, A.L., WALLING, D.E., 2007. Fine-grained bed sediment storage within the main channel systems of the Frome and Piddle catchments, Dorset, UK. *Hydrological processes* 21, 1448-1459.

FRANCKE, T., LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., VERICAT, D., BRONSTERT, A., BATALLA, R.J., (2008a). Flood-based analysis of high-magnitude sediment transport using a non-parametric method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 2064-2077

FRANCKE, T., LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., SCHRÖDER, B. (2008b). Estimation of suspended sediment concentration and yield using linear models, random forests and quantile regression forests. *Hydrological Processes*, 22: 4892-4904

GAYÚBAR, A., 2001. *El valle del Isábena*. <http://www.ribagorza.com>.

HARDEN, C.P., 1993. Upland erosion and sediment yield in a large Andean drainage basin. *Physical Geography* 14, 254-271.

HART, E.A., SCHURGER, S.G., 2005. Sediment storage and yield in an urbanized watershed. *Geomorphology* 70, 85-96.

HODGKINS, R., COOPER, R., WADHAM, J., TRANTER, M., 2003. Suspended sediment fluxes in a high-Artic glacierised catchment: implications for fluvial sediment storage. *Sedimentary Geology* 162, 105-177.

JORDAN, P., SLAYMAKER, O., 1991. Holocene sediment production in Lillooet River basin, British Columbia: a sediment budget approach. *Géographie physique et Quaternarie* 45, 45-57.

LAMBERT C.P. AND WALLING, D.E., 1988. Measurement of channel storage of suspended sediment in a gravel-bed river. *Catena* vol.15, p.65-80.

LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., 2006. Transport de sediment en suspensió al riu Isàbena (conca de l'Ebre). *Unpublished Master-thesis*, Universitat de Lleida.

LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., BATALLA, R.J., VERICAT, D., FRANCKE, T., 2009a. Suspended sediment transport in a highly erodible catchment: The River Isábena (Southern Pyrenees). *Geomorphology* 109, 210-221.

LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., BATALLA, R.J., VERICAT, D., 2010. Rainfall, runoff and sediment transport relations in a mesoscale mountainous catchment: The River Isábena (Ebro basin). *Catena* (in press).

LÓPEZ-TARAZÓN, J.A., 2011. Balanç de sediment d'una conca altament erosionable. El riu Isàbena (Conca de l'Ebre, Pirineu Central). *Unpublished PhD-thesis*, Universitat de Lleida.

LOUGHRAN, R.J., CAMPBELL, B.L., SHELLEY, D.J., ELLIOT, G.L., 1992. Developing a sediment budget for a small drainage basin in Australia. *Hydrological Processes* 6, 145-158.

MAMEDE, G.L., BRONSTERT, A., ARAÚJO, J.C., BATALLA, R.J., GÜNTNER, A., FRANCKE, T., MÜLLER, E.N., 2006. 1D process-based modelling of reservoir sedimentation: a case reservoir in Spain. Proc. of the International Conference on Fluvial Hydraulics (River Flow 2006) 2, pp. 1585-1594.

MAMEDE, G., 2008. Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management. Unpublished PhD Thesis, Universität Potsdam, Germany.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., POCH, R.M., 1998. Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse de Joaquín Costa. *Limnética*, 14: 83 - 91.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., POCH, R.M., TARRADAS, J., 1999. *Identificación de zonas prioritarias de actuación de lucha contra la erosión en la cuenca del río Rialbo (Huesca)*. Informe Técnico, Ingeniería Civil del Medio Ambiente, S.L. y Universitat de Lleida. 1999. 47 pp + 3 mapas.

MEADE, R.H., 1994. Suspended sediment of the modern Amazon and Orinocco Rivers. *Quaternary International* 21, 29-39.

MERTES, L.A., 1994. Rates of flood-plain sedimentation on the Central Amazon River. *Geology* 22, 171-174.

NAVAS, A., VALERO, B., MACHÍN, J., WALLING, D., (1998). Los sedimentos del embalse Joaquín Costa y la historia de su depósito. *Limnética*, 14, 93-112.

OWENS, P.N., WALLING, D.E., HE, Q., SHANAHAN, J., FOSTER, I.D.L., 1997. The use of caesium-137 measurements to establish a sediment budget for the Start catchment, Devon, UK. *Hydrological Sciences Journal* 42, 405-423.

PENELLA, M.E., 1997. *Caracterización de badlands y análisis de su dinámica mediante estudio multitemporal de fotografías aéreas y SIG en Campo (Huesca)*. Proyecto Final de Carrera, ETSEA – UdL, Lleida.

PHILLIPS, J.D., 1991. Fluvial sediment budgets in the North Carolina Piedmont. *Geomorphology* 4, 231-241.

POCH, R.M., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 1997. Prevention of reservoir siltation in large watersheds: from sediment source identification to the design of soil conservation measures. *Journal of Soil and Water Conservation*, 52: 285-286.

SANZ MONTERO, M., COBO RAYÁN, R., AVENDAÑO SALAS, C., GÓMEZ MONTAÑA, J. (1996). Influence of the drainage basin area on the sediment yield to Spanish reservoirs. En: *Proceedings of the First European Conference and Trace Exposition on Control Erosion*.

SERRAT, N., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., 1998. Cartografía del riesgo de erosión hídrica en grandes cuencas hidrográficas mediante técnicas de teledetección y SIG. *Montes*, 54: 27-35.

SMITH, H.G., DRAGOVICH, D., 2008. Sediment budget analysis of slope-channel coupling and in-channel sediment storage in an upland catchment, southeastern Australia. *Geomorphology* 101, 643-654.

SWANSON, F.J., JANDA, R.J., DUNNE, T., SWANSTON, D.N., 1982. Sediment budgets and routing in forested drainage basins. USDA Forest Service General Technical Report PNW-141.

VALERO-GARCÉS, B., NAVAS, A., MACHÍN, J. (1997). Sediment deposition in the Barasona reservoir (central Pyrenees, Spain): temporal and spatial variability of sediment yield and land use impacts. *Human Impact on Erosion and Sedimentation, IAHS*, 245: 241 - 249.

VALERO-GARCÉS, B., NAVAS, A., MACHÍN, J., WALLING, D. (1999). Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a case study from the Central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 28: 23 41.

VERDÚ, J.M., 2003. Anàlisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo). *Tesis Doctoral, ETSEA-UdL*, Lleida.

VERDÚ, J.M, MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., GARCÍA-HERNÁNDEZ, N., 2004. Respuesta hidrológica de la cuenca del río Isábena (Huesca) a los cambios en la vegetación y los usos del suelo en la década de los noventa. *Lucas Mallada*, 11: 213-228.

VERDÚ, J.M., BATALLA, R.J., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., (2006a). Estudio hidrológico de la cuenca del río Isábena (Cuenca del Ebro). I: Variabilidad de la precipitación. *Ingeniería del Agua*, 13 (4): 321-330.

VERDÚ, J.M., BATALLA, R.J., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. (2006b). Estudio hidrológico de la cuenca del río Isabena (Cuenca del Ebro). II: Respuesta hidrológica. *Ingeniería del Agua* 13 (4), 331-343.

VERICAT, D., BATALLA, R.J. (2005). Sediment transport in a highly regulated fluvial system during two consecutive floods (lower Ebro River, NE Iberian Peninsula). *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 385-402.

VERICAT, D., BATALLA, R.J. (2006a). Balance de sedimentos en el tramo bajo del Ebro. *Cuaternario y Geomorfología*, 20 (1-2): 79-90.

VERICAT, D., BATALLA, R.J. (2006 b). Sediment transport in a large impounded river: The Lower Ebro, NE Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 79:72-92.

WALLING, D.E., OWENS, P.N., LEEKS, G.J.L. (1998). The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Geomorphology*, 22: 225-242.

WALLING, D.E., OWENS, P.N., LEEKS, G.J.L. (1999). Rates of contemporary overbank sedimentation and sediment storage on the floodplains of the main channel systems of the Yorkshire Ouse and River Tweed, UK. *Hydrological Processes*, 13: 993-1009.

WILLIAM, G.P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. *Journal of Hydrology*, 111: 89-106.

WILSON, A.J., WALLING, D.E., LEEKS, G.J.L., 2004. In-channel storage of fine sediment in rivers of southwest England. In: Golosov, V., Belyaev, V., Walling, D.E. (Eds.), *Sediment transfer through the fluvial system*. IAHS Publication 288, pp. 291-299.